

**Der Einfluß von
Tonhöhe, Stimmschalldruck und Vokalen
auf die Tonhalte­dauer
bei Sängern und Nichtsängern**

Disbui. München
1987

Petra Schmidt



AUS DER
KLINIK UND POLIKLINIK FÜR HALS-, NASEN- UND OHRENKRANKE
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

VORSTAND: PROF. DR. E. KASTENBAUER

DER EINFLUSS VON
TONHÖHE, STIMMSCHALLDRUCK UND VOKALEN
AUF DIE TONHALTEDAUER BEI SÄNGERN UND NICHTSÄNGERN

DISSERTATION
ZUM ERWERB DES DOKTORGRADES DER MEDIZIN
AN DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER
LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN

VORGELEGT VON
PETRA SCHMIDT

AUS
HAMBURG

1987

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

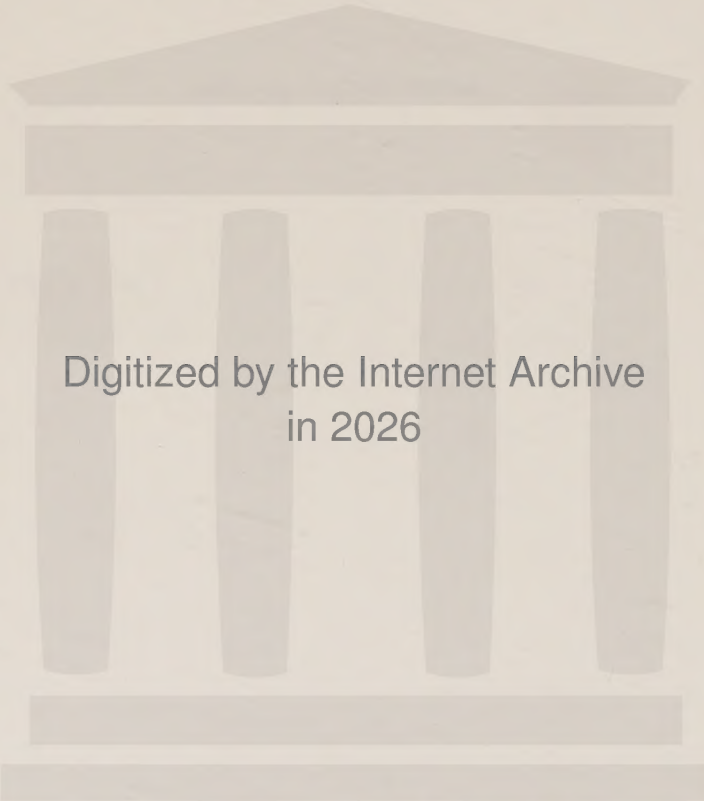
Berichterstatter: Prof. Dr. F. Martin

Mitberichterstatter: 1. Prof. Dr. E. Kastenbauer
2. Prof. Dr. Dr. H. C. K. Thureau

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 29.10.1987

Meinen Eltern gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. EINLEITUNG	1
II. METHODE	5
1. Probanden	5
2. Versuchsablauf	5
III. ERGEBNISSE	9
1. Einfluß des Stimmschalldrucks auf die Tonhalte- dauer	9
2. Einfluß der Tonhöhe auf die Tonhalte- dauer	13
3. Einfluß des Vokales auf die Tonhalte- dauer	13
4. Unterschiede zwischen Sänger- und Normalstimme	18
5. Einfluß des Geschlechts auf die Tonhalte- dauer	19
6. Intra- und interindividuelle Variabilität	19
7. Einfluß der Vitalkapazität auf die Tonhalte- dauer	24
8. Phonationsquotient	26
9. Phonationsvolumen	26
10. Stimmfeld	29
IV. DISKUSSION	33
1. Diskussion der Methodik	33
2. Diskussion der Ergebnisse	36
V. ZUSAMMENFASSUNG	44
VI. LITERATURVERZEICHNIS	45

I EINLEITUNG

Die Messung der Tonhaltezeit, auch maximale Phonationszeit MPT (maximum phonation time) genannt, ist in der phoniatischen Praxis eine weit verbreitete Methode, um sich einen Überblick über die Stimmfunktion zu verschaffen. Als einfacher klinischer Test hat sie den Vorteil des geringen Zeit- und Materialaufwandes. Klinische Beobachtungen sprechen für einen Zusammenhang zwischen der Veränderung des Meßwertes und organischen Kehlkopfkrankungen oder funktionellen Stimmstörungen (2,3,8,9,15,16,46,57).

Dennoch kam es bisher zu keiner Standardisierung der MPT, da sie von sehr vielen Parametern abhängt und zu viele Vorschläge (1,9, 57) zu ihrer Messung vorliegen.

Die Notwendigkeit der Standardisierung steht dabei außer Frage (52): Eine Durchsicht der Literatur zeigt die verschiedenen Techniken, mit denen die MPT bestimmt wird (19,23,26,42,62), wobei fehlende, ungenaue oder unterschiedliche Anweisungen über Anzahl der Versuche, Pausen, Vokale, Tonhöhe und Lautstärke die Ergebnisse nicht immer reproduzierbar erscheinen lassen. Entsprechend tritt in der bisherigen Literatur eine große Variation der Tonhaltezeit auf (s. Tabelle 1).

Sehr häufig finden sich Anweisungen wie "bequem, angenehm" für Lautstärke und Tonhöhe. Die Studie von Brown et al. (6) zeigt allerdings auf, daß dieser "comfortable effort level" als experimentelle Variable anzusehen ist. In der Studie erreichen die Tag zu Tag-Unterschiede bei den Versuchspersonen intraindividuell bis zu 25 dB Schalldruck und 30 Hz Tonhöhe.

Es gilt daher, die Parameter zu bestimmen bzw. einzuschränken.

Die große intra- und interindividuelle Variabilität der Tonhaltezeit kommt durch ihre Abhängigkeit von vielen Faktoren zustande. Im Einzelnen sind dies:

1. Respiratorische Faktoren: a) Vitalkapazität, ihrerseits abhängig von z.B. Geschlecht, Alter, Körpergröße, -gewicht, b) Tiefe der Einatmung.
2. Glottale Bedingungen (1,23): a) Stimmlippenspannung, b) Grad der Vollständigkeit des Stimmlippenschlusses, c) Glottiswiderstand, d) Subglottischer Druck, der überwiegend durch expiratorisch wirkende Muskelkräfte aufgebaut wird,

- e) Grundfrequenz, welche die Tonhöhe bestimmt, f) Öffnungsquotient, d.h. das Verhältnis von Dauer der Stimmlippenöffnung zur Gesamtzeit eines Bewegungsumfanges während einer phonatorischen Stimmlippenbewegung, seinerseits abhängig von Tonhöhe, Lautstärke und Register (48).
3. Vokaltrakt: a) Wechselwirkung mit der Glottis: sein Widerstand addiert sich bei der Vokalphonation zum glottalen Widerstand - am wenigsten beim Vokal /a/ (23), b) Konfiguration: Artikulation offener oder geschlossener Vokale, Resonanz, abhängig von Phonationsart (frei, gedeckt, nasal ...).
 4. Körperbeherrschung: a) Einstellung des respiratorischen und phonatorischen Muskelapparates, b) Kontrolle und Steuerung der Atmung und Phonation.
 5. Psychische Gestimmtheit bei der Testung: a) Motivation des Probanden als auch des Versuchsleiters, b) emotionales Gleichgewicht des Probanden (insbesondere gehemmte Zurückhaltung aus dem Gefühl eigener stimmlicher Mängel), c) neurovegetativer Aktivierungszustand z.B. nach Seeman (51): Verkürzung der MPT bei sympatikoton gestimmter Ausgangssituation.
 6. Untersuchungsmodus: a) Anzahl der Phonationen (33,38,52), b) Pausen zwischen den einzelnen Phonationen, c) Vorübungen.

Wie verhält sich die MPT der professionellen Stimme des Sängers zu der des Nichtsängers? Hinweisen zufolge aus den Arbeiten von Ptacek & Sander (42) und Yanagihara (62) liefern Sänger erheblich längere maximale Phonationszeiten. - In der Gesangsausbildung spielt das "richtige" Atmen und die sog. "Atemstütze" eine grundlegende Rolle (22,35,61). Verschiedene Autoren untersuchten deshalb, ob sich die sängerische Ausbildung auf die Vitalkapazität auswirkt (13,14,18,34). Weiterhin unterscheidet sich der Sänger vom Ungeübten durch sein spezifisches langjähriges Training in Punkt vier der oben genannten Faktoren: bessere Körperbeherrschung. Proctor (41) empfiehlt Tonhalten mit crescendo und decrescendo als Gesangsübung, und auch Frank & Donner (11) halten die MPT als besonders geeignet, um Rückschlüsse auf die Atem- und Stimmführung beim Singen zu ziehen. Sie stellen sogar die Forderung auf, Stimmfeldmessungen mit der Tonhaltedauer in die Eignungsprüfung für Stimm- und Sprechberufe aufzunehmen.

Einen Überblick der Literatur über bisherige Ergebnisse verwandter Arbeiten gibt Tabelle 1. Ad 1) Vogelsanger (59) liefert MPT-Werte von Sänger(innen). Es handelt sich dabei anscheinend um gemittelte Werte aus dem gesamten Stimm- und Intensitätsbereich. Da er sich primär für den Luftverbrauch interessierte, sind die getrennten Werte entsprechend den variierenden Tonhöhen und Lautstärken leider nicht ersichtlich.

Ad 2) Die Arbeit von Ptacek & Sander (42) trägt der oben genannten Notwendigkeit, die Parameter einzuschränken, Rechnung, indem sie die Abhängigkeit der MPT von Tonhöhe und Lautstärke untersucht: Es werden 2 Tonhöhen und 3 Lautstärken bei der Ermittlung der Tonhalteedauer differenziert. Fünf Sänger fallen aus den achtzig Probanden durch deutlich höhere MPT-Werte heraus.

Ad 4) Yanagihara & Koike (63) differenzieren die Tonhöhen tief, mittel und hoch, aber ohne die Frequenzwerte vorzugeben. Die Lautstärke ist dabei "bequem" gehalten. Ihre Mittelwerte liegen unter 30 Sek., zwei Werte über 45 Sek. fallen auf.

Ad 6) Shanks & Mast (52) bemühen sich um standardisierte Versuchsbedingungen hinsichtlich Anzahl und Pausen zwischen den Phonationen (bei "bequemer" Tonhöhe und Lautstärke). Es zeigt sich eine Unabhängigkeit der MPT von der Zahl der Versuche; vier werden als ausreichend angesehen.

Ad 10) Rau & Beckett (43) "comfortable levels" werden beim Auf-sagen von Zahlenreihen mit Frequenzzähler und Schallpegelmesser vorher bestimmt. Der Schalldruck beträgt dabei 60 bis 70 dB, Angaben zur Frequenz fehlen.

Das Ziel dieser Arbeit besteht in folgendem:

- 1.) Erstellung von Normwerten der Tonhalteedauer und deren Differenzierung durch die Einflußnahme von 4 Tonhöhen, 4 Schalldruckwerten und der 3 Hauptvokale für Sänger und Nichtsänger.
- 2.) Klärung der Frage: Wird durch die Bestimmung der Parameter Tonhöhe, Schalldruck und Vokal die Variabilität der MPT beeinflusst?
- 3.) Klärung der Annahme: a) Die Tonhalteedauer des Sängers ist länger als die des Nichtsängers, b) Die intraindividuelle Variabilität der MPT bezogen auf die Parameter Tonhöhe, Schalldruck und Vokal ist beim Sänger geringer als beim Nichtsänger.

AUTOR	FALL- ZAHL	VOKAL	MÄNNLICH					WEIBLICH				
			SPL(dB)	FO(Hz)	MPT (sec)			SPL(dB)	FO(Hz)	MPT (sec)		
					O	MIN	MAX			O	MIN	MAX
VOGELSANGER (1954)	14 ♂ S 11 ♀ S	e	ges. Stimm- u. In- tensitätsumfang		26	15	33	ges. Stimm- u. In- tensitätsumfang		26	20	32
PTACEK & SANDER (1963)	40 ♂ 40 ♀	a	82	130	23	11	43	82	220	17	8	31
			82	250	22	7	43	82	400	22	11	46
			91	130	23	12	45	91	220	19	7	31
			91	250	18	5	35	91	400	15	4	30
			99	130	21	7	41	99	220	19	3	27
			99	250	18	7	39	99	400	12	4	28
ISSHIKI et al (1967)	5 ♂ 5 ♀	a	com	com	32	24	46	com	com	18	11	36
YANAGIHARA & KOIKE (1967)	11 ♂ 11 ♀	a	com	com	28	18	46	com	com	22	14	31
			(65)	(95)	30	20	51	(68)	(209)	23	16	33
			com	com	24	12	34	com	com	17	9	25
			(67)	(118)				(64)	(230)			
			com	com				com	com			
			(64)	(208)				(64)	(390)			
HIRANO et al (1968)	25 ♂ 25 ♀	a	com	com	35	15	62	com	com	26	14	40
SHANKS & MAST (1977)	30 ♂ 30 ♀	a	com	com	23	5	69	com	com	18	7	39
BASTIAN et al (1978)	51 ♀	o						90	com	22	14	31
NEIMAN & EDESON (1981)	20 ♂ 20 ♀	a	com	com	8	34		com	com	5	24	
FRANK & DONNER (1983)	23 NS 23 S	a						so leise- so laut- so leise- so laut- wie mögl	ges. Stimm- umfang	13 7 34 NS 11 5 34 NS 9 4 32 S 9 5 27 S		
KAU & BECKETT (1984)	10 ♂ 9 ♀	a	com*	com*	32	20	47	com*	com*	25	19	37
SAWASHIMA (1966)	70 ♂ 78 ♀	a			30	14	51			20	9	36

Tab. 1: Zusammenstellung thematisch verwandter Arbeiten mit Angabe von Autor, Fallzahl (mit Unterteilung in S =Sänger, NS =Nichtsänger und ♂ =männlich, ♀ =weiblich), Vokal, Stimm-schall-druck (SPL in dB) (SPL, sound pressure level), Grundfrequenz (FO in Hz), Ton-hal-te-dau-er (MPT in Sek.) mit Durchschnittswert und Minimum- und Maximumangabe.

com = comfortable level

com* = comfortable level, vorher bestimmt

(SPL),(FO) = Werte gemessen, nicht vorgegeben

II METHODE

1. Probanden

An dem Versuch nahmen insgesamt 50 Personen im Alter von 19-38 Jahren teil. Die Gruppe der Nichtsänger(innen) umfaßte 22 Personen (11 männlich, 11 weiblich), die der Sänger(innen) 28 Personen (11 männlich, 17 weiblich). Bei den Sängern bestand folgende Stimmgattungsverteilung: 5 Tenöre, 3 Baritone, 3 Bässe; bei den Sängerinnen: 9 Soprane, 4 Mezzosoprane, 4 Altistinnen.

Die Population der Sängerinnen setzte sich aus 8 aktiven Opern- bzw. Konzertsängerinnen, 2 Opernchorsängerinnen und 7 Gesangstudentinnen der Musikhochschule München und des Richard-Strauss Konservatoriums München (mit mindestens vier Jahren Unterricht) zusammen. Von den Sängern waren 6 aktive Opern- bzw. Konzertsänger, 1 Opernchorsänger und 4 Gesangstudenten (s.o. mit mindestens vier Jahren Unterricht).

Alle Personen waren Nichtraucher, stimmgesund mit normalem Gehör, ohne HNO-, Herz-, Kreislauf-, Lungen-, Nervenkrankheiten und am Tag der Untersuchung in ihrer normalen stimmlichen Verfassung.

2. Versuchsablauf

2.1 Voruntersuchungen

- (1) Es wurde die Vitalkapazität mit einem Spirometer gemessen. Der Proband hatte 3 Versuche, das höchste Volumen wurde gewertet. Dazu wurde Alter, Größe und Gewicht des Probanden notiert.
- (2) Dann bestimmten wir die mittlere Sprechstimmlage (MSL) anhand freien Erzählens nach Schultz-Coulon (47); die vom Untersucher festgestellte Tonhöhe wurde dabei mittels eines Klavieres identifiziert.
- (3) Es wurde die quantitative Stimmfeldmessung nach Klingholz & Martin (28) durchgeführt, bei der der Proband aufgefordert wurde, mit dem Vokal /a/* über seinem gesamten Stimmumfang einmal so leise wie möglich, dann so laut wie möglich, zu

* Die in dieser Arbeit mit /a/, /u/ und /i/ bezeichneten Vokale entsprechen phonetisch den Vokalen [a:], [u:] und [i:].



phonieren. Die Töne wurden vom Klavier vorgegeben und die erreichten Schallpegel durch einen Pegelmesser registriert.

2.2 Versuch:

Dem Probanden wurde ein Standardtext vorgelesen und die erste Phonation vom Untersucher demonstriert. Dann hatte der Proband eine erste Probe.

Der zu singende Ton wurde auf einem Klavier vorgegeben. Die gewünschte Lautstärke wurde durch einen markierten Zeigerausschlag eines Schallpegelmessers (Brüel & Kjaer) kontrolliert und war vom Probanden selbst während des Singens einzuhalten. Der Abstand zum Mikrophon des Schallpegelmessers betrug 20 cm. An den Schallpegelmesser war ein Tonbandgerät angeschlossen, mit dem sämtliche Phonationen aufgenommen wurden. Die Zeit wurde mit einer Stoppuhr gemessen.

Ausgehend von der MSL und bei Miteinbeziehung der Stimmgattung wurde T1, die tiefste von insgesamt vier Tonhöhen gewählt. Ermittelten wir bei einer Altistin oder Mezzosopranistin beispielsweise die MSL g (196 Hz), so wurde willkürlich diese Tonhöhe als T1 bestimmt. Bei einer Sopranstimme mit gleicher MSL wurde T1 einen Ton höher bei a (220 Hz) festgelegt. Hatte der Sopran die MSL a oder h, so blieb entsprechend T1 a bzw. h. Für T1 wurde also von der MSL höchstens um einen Ganzton abgewichen.

Die drei weiteren Tonhöhen T2-T4 bauten sich in Quart- bzw. Quintsprüngen auf T1 auf. Dabei wurde darauf geachtet, daß sie nicht direkt mit den Registerbruchstellen zusammenfielen (27). Überblick über die vier Tonhöhen in Hertz:

	Tonhöhe T1	Tonhöhe T2	Tonhöhe T3	Tonhöhe T4
Männer	110 (98-123)	165 (147-175)	220 (196-247)	330 (294-349)
Frauen	220 (175-247)	330 (294-330)	440 (392-494)	659 (587-659)

In Klammern sind die Schwankungsbreiten der willkürlich bestimmten Tonhöhen angegeben.

Zuerst wurde T1 mit dem Vokal /a/ phoniert: 1. leise auf 60 dB, 2. mäßig laut auf 70 dB, 3. laut auf 80 dB, 4. sehr laut auf 90 dB.

Ebenso wurde mit den Vokalen /u/ und /i/ verfahren.

Der Proband hatte jeweils drei Versuche; jedoch bei 90 dB nur einen, da sich schon bald zeigte, daß die Nichtsänger bei diesem Schalldruck leicht stimmlich überfordert waren.

Bei allen Tonhöhen (T1-T4) wurde entsprechend vorgegangen.

Dies ergab für jede Tonhöhe 12 verschiedene Phonationen, insgesamt also 48 Phonationen. Da ausgenommen für den Schalldruck 90 dB je drei Versuche galten, ergaben sich: $9 \times 3 + 1 \times 3 = 30$ (für jede Tonhöhe), insgesamt also $4(T1-T4) \times 30 = 120$ Phonationen pro Proband. Eine Übersicht gibt Abbildung 1 (Beispiel eines Versuchsprotokolles).

Pausenregelung: Zwischen jeder Phonation bestand eine Pause von 60 Sek., nach dem Durchgang der ersten Tonhöhe T1 eine Pause von 15 Min. Im Anschluß an T2 wurde - je nach Verfassung des Probanden - 15-30 Min. (mit Imbiß zur Stärkung) pausiert, nach T3 wieder 15 Min. Pause.

Bei den ausgebildeten Stimmen konnte in einigen Fällen von dieser Pausenregelung abgewichen werden, falls die Probanden eine Intervallverkürzung ausdrücklich wünschten.

NAME: C.H. ALTER: 25 Jahre GRÖßE: 163 cm VK: 3900 ml BEMERKUNG: Nichtsängerin
 GESCHLECHT: ♀ DATUM: 4.12.85 GEWICHT: 58 kg MSL: 220 Hz (a)

TONHÖHE	FREQUENZ (Hz)	VOKAL	SPL (dB)		
T1	220 (a)	/a/	60	70	80
		/u/	24/21/25/ 23	22/20/19/ 20	17/21/14/ 17
		/i/	25/28/32/ 28	20/20/21/ 20	14/11/12/ 12
T2	330 (el)	/a/	22/26/27/ 25	18/22/19/ 20	14/19/19/ 17
		/u/	32/34/30/ 32	17/22/21/ 20	17/15/15/ 16
		/i/	25/30/25/ 27	19/24/26/ 23	16/17/20/ 18
T3	440 (al)	/a/	29/23/25/ 26	18/25/27/ 23	13/15/19/ 16
		/u/	25/30/28/ 28	22/21/20/ 21	17/19/19/ 18
		/i/	29/33/35/ 32	27/26/26/ 26	19/16/18/ 18
T4	587 (d2)	/a/	29/27/30/ 29	18/22/22/ 21	16/16/16/ 16
		/u/	27/25/35/ 31	25/28/26/ 26	16/16/17/ 16
		/i/	22/22/22/ 22	22/26/24/ 24	22/21/21/ 21
			19/20/20/ 20	18/17/20/ 18	13/17/21/ 17

Abb. 1: Beispiel eines Versuchsprotokolles. Werte der maximalen Phonationszeit (Sek.) bezogen auf Tonhöhe, Stimm Schalldruck und Vokalqualität.

III ERGEBNISSE

In dieser Untersuchung leisteten 50 Probanden je 120 Phonationen. Das ergeben insgesamt 6000 Einzelphonationen. Bei der Auswertung ist primär der Gruppenvergleich von Interesse, deshalb werden im Folgenden überwiegend die Einzeldaten der vier Gruppen zusammengefaßt. Es sind dies: Sänger, Nichtsänger, Sängerinnen und Nichtsängerinnen.

1. Einfluß des Stimmschalldrucks auf die Tonhalte- dauer

Die Abbildungen 2 - 4 stellen die diesbezüglichen Ergebnisse in Diagrammen dar. Die Einzeldaten der vier Versuchsgruppen werden jeweils als Gruppendaten mit dem Median als Mittelwert angegeben. Auf der Ordinate ist die Tonhalte-
dauer in Sekunden angegeben, auf der Abszisse der Schalldruck in Dezibel.

Die Abbildung 2 a,b,c,d zeigt das Verhältnis der MPT zum Schalldruck, hier für den Vokal /a/ auf den Tonhöhen T1 - T4. Die Abbildungen 3 - 4 a,b,c,d zeigen die Verhältnisse entsprechend für die Vokale /u/ und /i/.

Es wird ersichtlich, daß bei sämtlichen verschiedenen Parametern (Tonhöhe T1 - T4, Vokale /a/, /u/, /i/), unter denen die MPT ermittelt wurde, folgende gemeinsame Tendenz festzustellen ist: Mit steigendem Schalldruck sinkt die Tonhalte-
dauer.

Am stärksten ist die Verkürzung der MPT bei der Steigerung des Schalldrucks von 80 auf 90 dB. Von 60 auf 70 dB bzw. von 70 auf 80 dB wird dagegen auch eine gleichbleibende oder sogar in einigen Fällen ansteigende Tonhalte-
dauer beobachtet, die dann bei 90 dB abfällt.

Ausnahme: Ein Anstieg der MPT bei Steigerung auf 90 dB in zwei Fällen: 1. bei den Nichtsängerinnen auf T1 Vokal /a/, 2. bei den Nichtsängern auf T2 Vokal /a/.

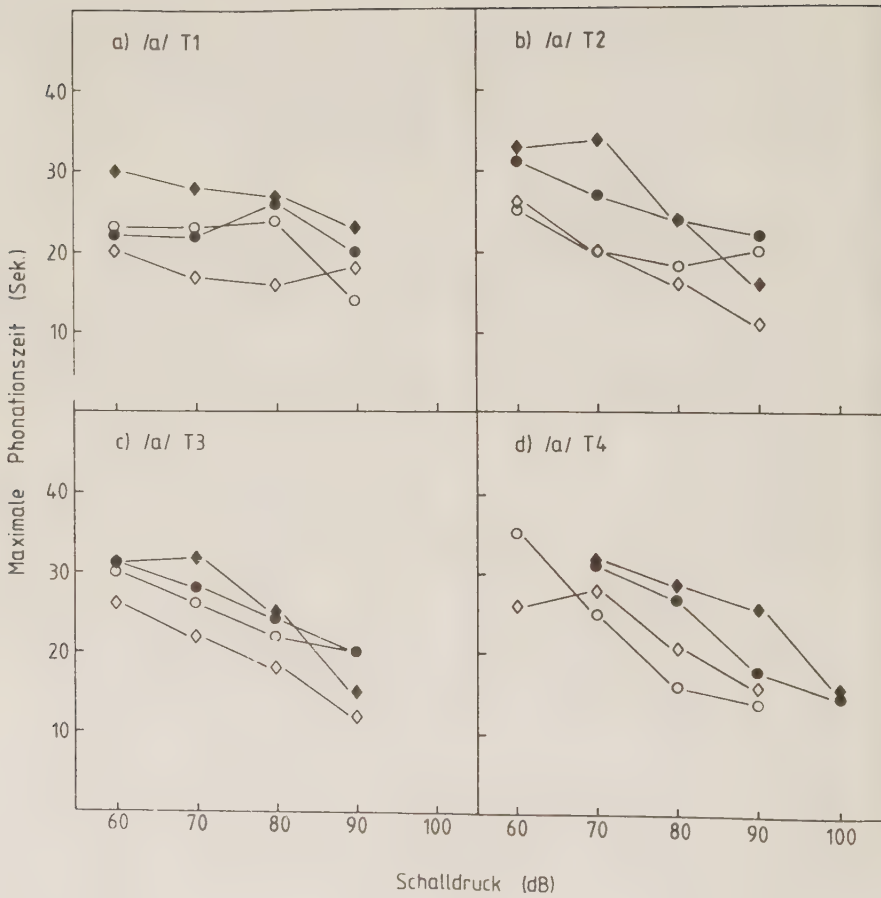


Abb. 2: Diagramme des Verhältnisses der Tonhaldedauer (Sek.) zum Schalldruck (dB). Dargestellt sind der Gruppenmedian (● Sänger, ○ Nichtsänger, ◆ Sängerin, ◇ Nichtsängerin) der MPT für den Vokal /a/ bei den Schalldrucken 60 - 90 Dezibel
a) auf der Tonhöhe T1, b) Tonhöhe T2, c) Tonhöhe T3, d) Tonhöhe T4.

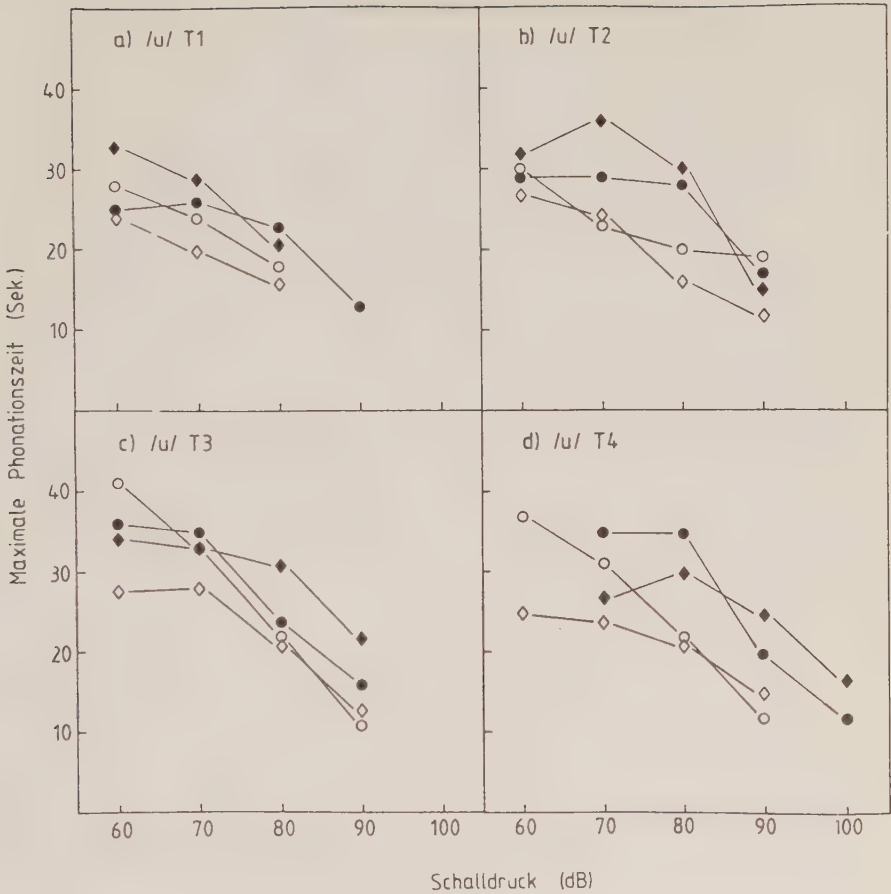


Abb. 3: Diagramme des Verhältnisses der Tonhaltedauer (Sek.) zum Schalldruck (dB). Dargestellt sind der Gruppenmedian (● Sängern, ○ Nichtsänger, ◆ Sängern, ◇ Nichtsängern) der MPT für den Vokal /u/ bei den Schalldrücken 60 - 90 Dezibel
a) auf der Tonhöhe T1, b) Tonhöhe T2, c) Tonhöhe T3, d) Tonhöhe T4.

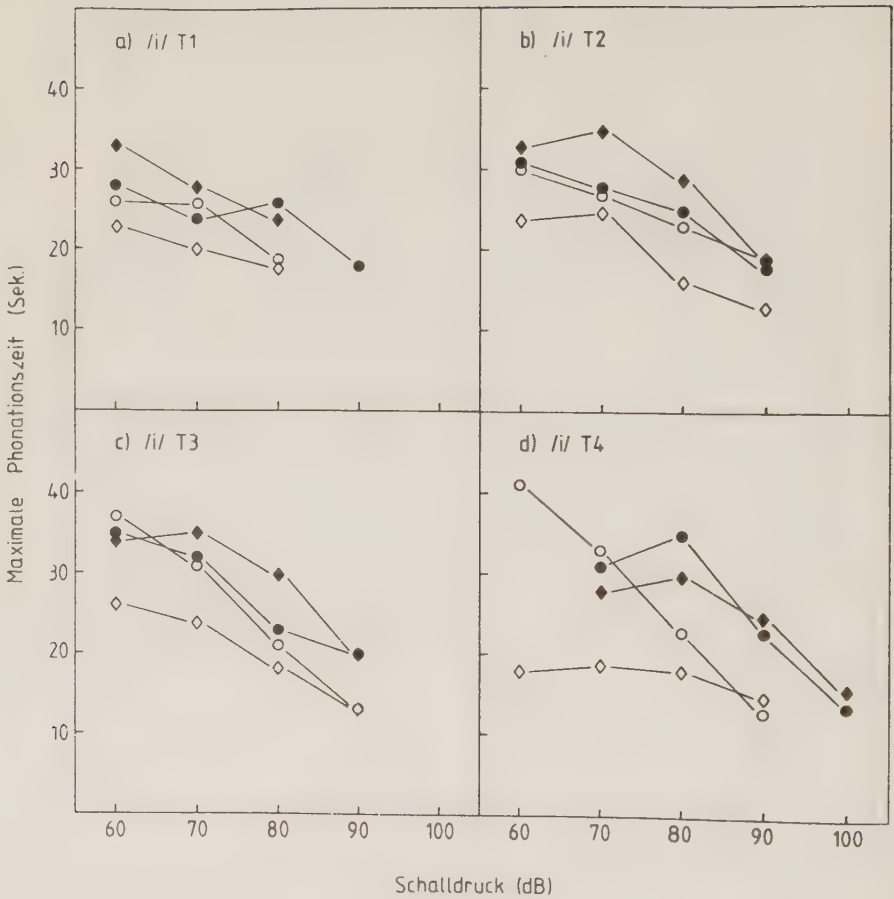


Abb. 4: Diagramme des Verhältnisses der Tonhaltezeit (Sek.) zum Schalldruck (dB). Dargestellt sind der Gruppenmedian (●, Sänger, ○ Nicht-sänger, ◆ Sängerin, ◇ Nicht-sängerin) der MPT für den Vokal /i/ bei den Schalldrücken 60 - 90 Dezibel
a) auf der Tonhöhe T1, b) Tonhöhe T2, c) Tonhöhe T3, d) Tonhöhe T4.

2. Einfluß der Tonhöhe auf die Tonhalteedauer

Die Abbildungen 5 - 7 a,b,c,d stellen das Verhältnis von Tonhalteedauer zu ansteigender Tonhöhe (T1 - T4) graphisch dar.

Bei allen Parametern (Vokale /a//u//i/, Schalldruck 60,70,80, 90 dB) zeigt sich bei Normal- wie Sängerstimme folgende gemeinsame Tendenz:

Mit zunehmender Tonhöhe steigt die Tonhalteedauer leicht an oder bleibt gleich.

Jedoch gelten auch hier Ausnahmen: Die MPT fällt etwas ab bei: Nichtsängern von T3 zu T4 bei /a/ 80 und 90 dB, sowie T1 zu T2 bei /a/ 70 und 80 dB, Nichtsängerinnen von T3 zu T4 bei /i/ 60 dB, Sängerinnen und Nichtsängerinnen von T3 zu T4 bei /i/ 70 dB und bei Nichtsängerinnen und Nichtsängern von T3 zu T4 bei /u/ 60 dB.

Es fallen als Besonderheiten auf:

1. In der Tiefe (T1) erreichen nur die männlichen Sänger den Schalldruck 90 dB mit den Vokalen /u/ und /i/.
2. In der Höhe (T4) können nur die Nichtsänger (männlich und weiblich) den Schalldruck von 60 dB singen.

3. Einfluß des Vokales auf die Tonhalteedauer

Die Abbildung 8 zeigt das Verhältnis zwischen der Tonhalteedauer und den Vokalen /a/, /u/ und /i/ über den Tonhöhen T1 - T4 und den Schalldrucken 60 - 90 dB.

Eine allgemeine Tendenz läßt sich nicht feststellen. Der Vokal /u/ hat allerdings 19 mal den höchsten Wert, /i/ 14 mal und /a/ 13 mal.

Ein bedeutender Unterschied zwischen den Vokalen zeigt sich nur in der Tiefe (T1) bei hohem Schalldruck (90 dB): /a/ kann von allen vier Gruppen phoniert werden, /u/ und /i/ dagegen nur von den meisten männlichen Gesangsstimmen.

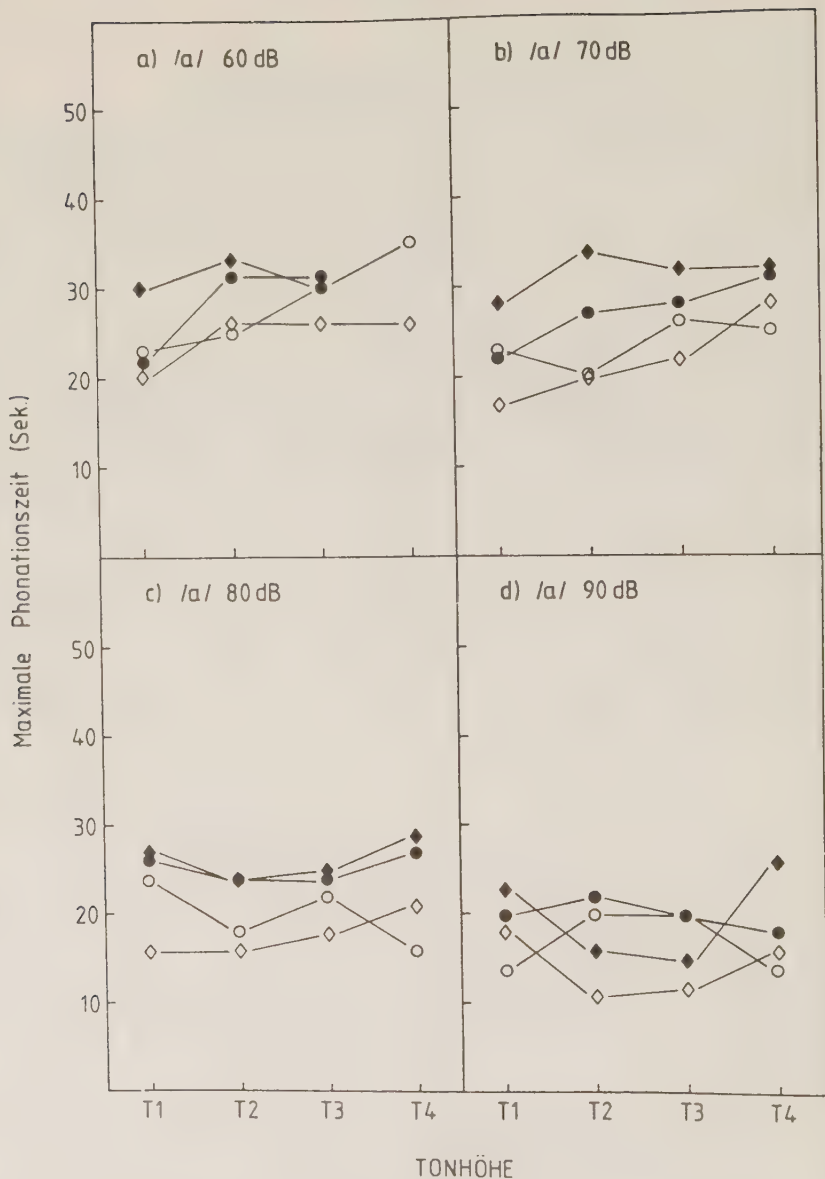


Abb. 5: Diagramme des Verhältnisses der Tonhaldedauer (Sek.) zur Frequenz (Hz). Dargestellt sind der Gruppenmedian (● Sänger, ○ Nichtsänger, ◆ Sängerin, ◇ Nichtsängerin) der MPT für den Vokal /a/ über die Tonhöhen T1 - T4 (T1: ♂ 110, ♀ 220, T2: ♂ 165, ♀ 330, T3: ♂ 220, ♀ 440, T4: ♂ 330, ♀ 659 Hz)
a) bei dem Schalldruck 60 dB, b) 70 dB, c) 80 dB, d) 90 dB.

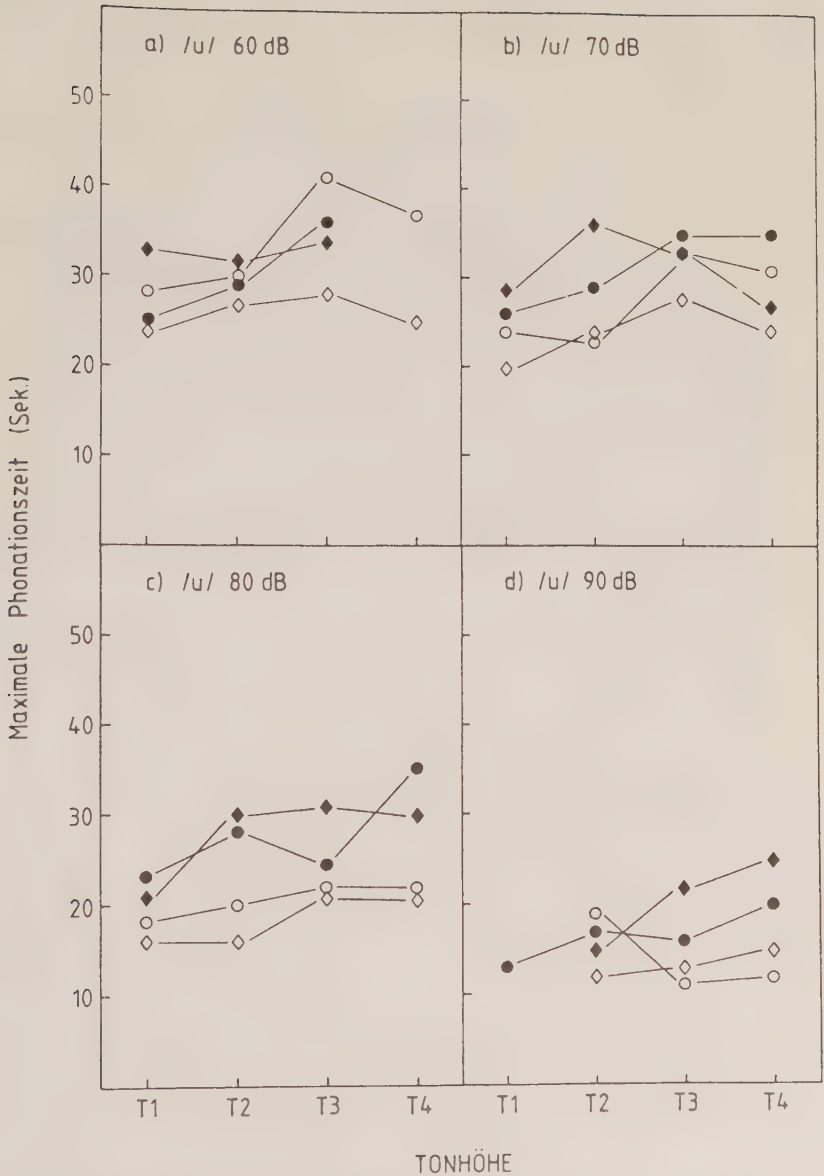


Abb. 6: Diagramme des Verhältnisses der Tonhaldedauer (Sek.) zur Frequenz (Hz). Dargestellt sind der Gruppenmedian (● Sängern, ○ Nichtsängern, ◆ Sängern, ◇ Nichtsängern) der MPT für den Vokal /u/ über die Tonhöhen T1 - T4 (T1: ♂ 110, ♀ 220, T2: ♂ 165, ♀ 330, T3: ♂ 220, ♀ 440, T4: ♂ 330, ♀ 659 Hz)
a) bei dem Schalldruck 60 dB, b) 70 dB, c) 80 dB, d) 90 dB.

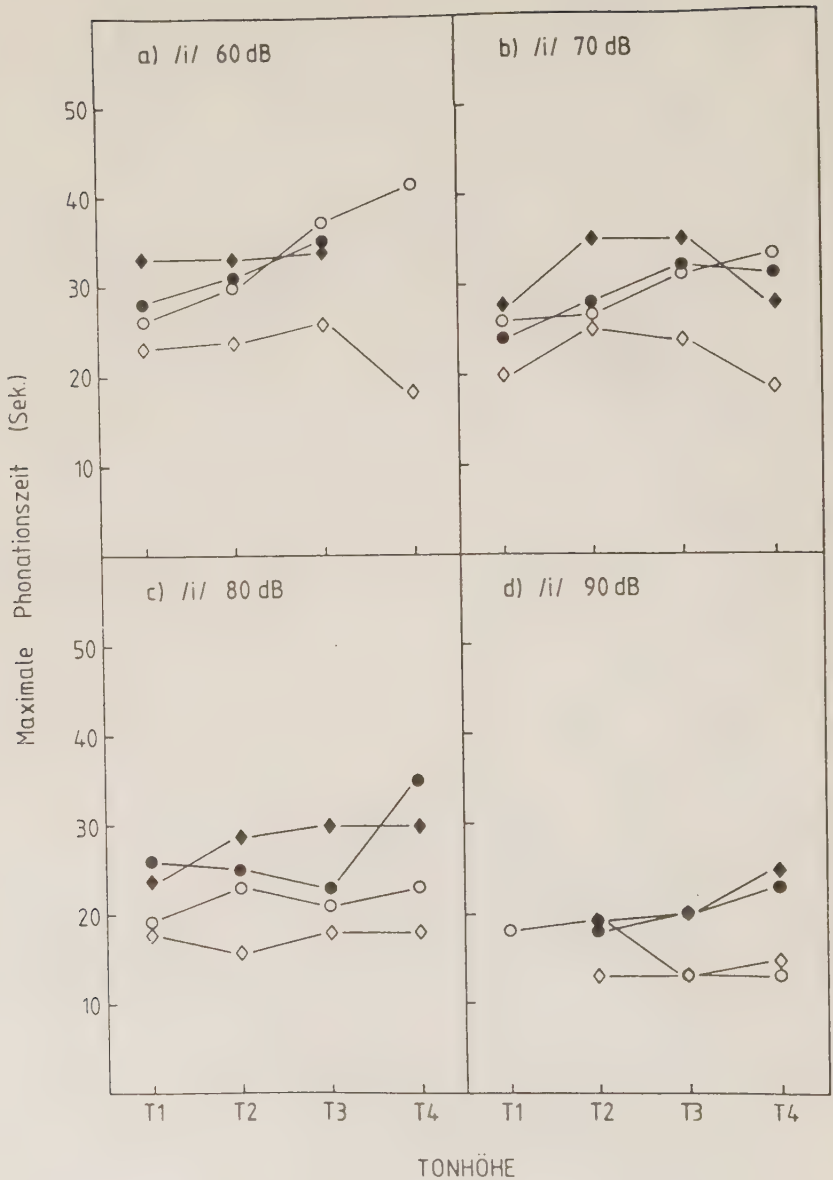


Abb. 7: Diagramme des Verhältnisses der Tonhaltedauer (Sek.) zur Frequenz (Hz). Dargestellt sind der Gruppenmedian (● Sängers, ○ Nichtsängers, ◆ Sängersin, ◇ Nichtsängersin) der MPT für den Vokal /i/ über die Tonhöhen T1 - T4 (T1: ♂ 110, ♀ 220, T2: ♂ 165, ♀ 330, T3: ♂ 220, ♀ 440, T4: ♂ 330, ♀ 659 Hz)
a) bei dem Schalldruck 60 dB, b) 70 dB, c) 80 dB, d) 90 dB.

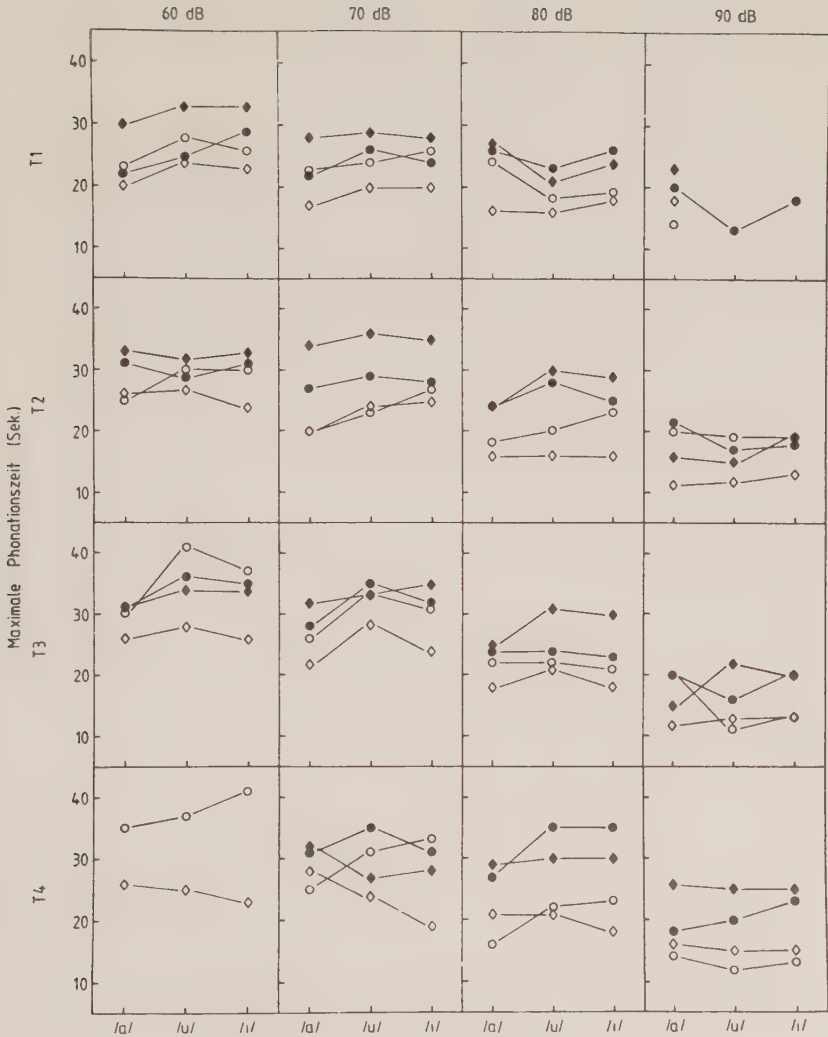


Abb. 8: Darstellung des Gruppenmedians (● Sänger, ○ Nichtsänger, ◆ Sängerin, ◇ Nichtsängerin) der Tonhaltezeit (Sek.) bei den Vokalqualitäten /a/, /u/ und /i/, den Schalldrücken 60 - 90 dB und über die Tonhöhen T1 - T4.

4. Unterschiede zwischen Sänger- und Normalstimme

Bei den Frauen sind die Verhältnisse deutlich abgrenzbar: Die Sängerinnen übertreffen die stimmlich unausgebildeten Probanden in allen 4 Tonhöhen, 4 Stimm Schalldrücken und 3 Vokalqualitäten mit längeren Tonhaltedauern.

Bei den Männern ergibt sich kein einheitliches Bild:

Die Sänger sind der Normalstimme nicht bei allen Phonationsbedingungen überlegen. So übertreffen die Sänger die Normalstimme bei T1 nur bei den lauten Schalldrücken (80, 90 dB), bei T2 beim Vokal /a/ in allen Schalldrücken, bei /u/ mit 70 und 80 dB, kein Unterschied dagegen bei /i/. Höhere MPT-Werte haben Sänger bei T3 nur mit /u/ und /i/ bei 90 dB, nicht beim Vokal /a/ und Schalldrücken bis 80 dB. Bei T4 bestehen höhere MPT-Werte der Sänger bei allen 3 Vokalen und 4 Lautstärken. (Ausnahme: /i/ bei 70 dB). Allgemein läßt sich für die Männer sagen: Erst in der Höhe (T4) und bei großer Lautstärke zeigt sich die Dominanz der Sängerstimme.

Als Besonderheiten fallen bei Sänger- und Normalstimme auf:

1. Bei T4 und z.T. T3 haben die Sänger(innen) Schwierigkeiten mit dem niedrigsten Schalldruck (60 dB). Nur wenigen gelingt es, so leise zu singen, dagegen ist dies kein Problem für die Normalstimme. Ähnliches stellt Schultz-Coulon (49 I) fest: auch seinen Sängern war ein guter tragfähiger Ton bei solchem "extremen pianissimo" sehr schwierig bis unmöglich.
2. So mühevoll bzw. unmöglich es für den (die) Sänger(in) ist, in der Höhe 60 dB zu produzieren, umso leichter fällt ihm (ihr) dort die Erzeugung hoher Schalldrücke. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von Van den Berg (55): zunehmende Tonhöhe korrespondiert mit stärkerer Lautstärke. Deshalb haben wir bei T4 zusätzlich die 100 dB Werte aufgenommen. Zeigt sich bei 90 dB der Unterschied zwischen Sänger- und Normalstimmen, so verdeutlicht er sich bei diesem Schalldruckniveau: kaum ein(e) Nichtsänger(in) erreicht 100 dB.
3. Bei tiefer Tonhöhe (T1) zeigt sich bei hohem Schalldruck (90 dB) deutlich ein Unterschied zwischen den Vokalen: /a/ kann sowohl von der Sänger- als auch von der Normalstimme phoniert werden, /u/ und /i/ dagegen nur von den Sängern und zwei Sängerinnen (Altistinnen).

5. Einfluß des Geschlechts auf die Tonhaltezeit

Der längste gemessene Einzelwert der maximalen Phonationszeit ist bei den Sängern 68 Sek. ($T4/i/70$ dB), bei einem Nichtsänger sogar 71 Sek. (auch $T4/i/70$ dB), bei den Sängerinnen ist 54 Sek. ($T3/u/70$ dB) der Maximalwert und bei den Nichtsängerinnen 55 Sek. ($T2/i/60$ dB).

Bei den Mittelwerten zeigt sich für die Normalstimmen: Überwiegend (in 70% der Fälle) liegen die Werte der Männer über denen der Frauen. Nur in 11% haben die Frauen höhere Werte, bei folgenden Bedingungen: $T1/a/90$, $T4/a/70,80,90$, $T4/u/90$ dB. Gleiche Werte (in 19.5%) für Männer und Frauen bei: $T2/a/60,70$, $T2/u/70$, $T3/u/80,90$, $T4/u/80$, $T1/i/80$, $T3/i/90$ und $T4/i/90$ dB.

Anders verhält es sich bei den Gesangsstimmen: Überwiegend (56%) haben die Frauen die höheren MPT-Werte. Die Männer haben nur in 24% höhere Werte. Bei: $T1/i/80$, $T1/u/90$, $T2/a/90$, $T2/u/90$, $T3/u/60,70$, $T4/i/70,80$ und $T4/u/70,80$ dB. In 19.5% haben Männer und Frauen gleiche Werte, im einzelnen bei: $T1/a/80$, $T2/a/80$, $T2/i/90$, $T3/a/60,80$, $T3/i/60,90$ und $T4/a/70,100$ dB.

Dabei läßt sich keine eindeutige Zuordnung zu den Parametern Schalldruck, Tonhöhe und Vokalqualität feststellen (siehe dazu auch die Abbildungen 2 - 4).

6. Intra- und interindividuelle Variabilität

Die intraindividuelle Variabilität ist auf den ersten Blick gleichermaßen bei Normal- und Sängerstimme erheblich. Von den 120 Phonationen wurde von jeder Versuchsperson die "maximale" und die "minimale" Tonhaltezeit ausgewertet und die Differenz zwischen beiden errechnet. Bei den Sängern ergab dies einen Mittelwert von 37 Sek. (min.20 - max.54), bei den Nichtsängern 44 Sek. (min.16 - max.61), bei den Sängerinnen 30 Sek. (min.20 - max.39) und bei den Nichtsängerinnen 29 Sek. (min.21 - max.46). Die Abbildung 9a veranschaulicht die Verhältnisse im Punktediagramm.

Diese beträchtliche intraindividuelle Variabilität hat jedoch seine Ursache anscheinend in den unterschiedlichen Bedingungen, unter denen die Tonhaltezeit gemessen wird (4 Tonhöhen, 4 Schalldrücke, 3 Vokale). Sie reduziert sich auf wenige Sekunden, wenn sie aus den je 3 Versuchen des Probanden pro veränderter Phonationsbedingung berechnet wird. Der Mittelwert der Schwankungsbreite ergibt dabei bei den Sängern 3.7 Sek. (min. 2.3 - max. 6.0), den Nichtsängern 4.2 Sek. (min. 1.8 - max. 7.8), den Sängerinnen 4.0 Sek. (min. 2.4 - max. 5.2) und den Nichtsängerinnen auch 4.0 Sek. (min. 2.6 - max. 5.9).

Aus dem Punktediagramm der Abbildung 9b sind neben dem Mittelwert der Gruppe auch für jeden einzelnen Probanden der Mittelwert der Streubreite aus 3 Versuchen sowie deren absolute Werte zu entnehmen.

Die Tabelle 2 gibt Aufschluß über die interindividuelle Variabilität. Neben dem Median sind dabei für die 4 Gruppen die absoluten Streuwerte, d.h. das Phonationsminimum und -maximum innerhalb der Gruppe, pro definierter Tonhöhe, Schalldruck und Vokal angegeben. Zählt man nun die Differenz aller absoluten Streuwerte innerhalb einer Gruppe zusammen und dividiert sie durch 48 (4 verschiedene Tonhöhen, 4 Schalldrücke, 3 Vokale), so ergibt dies einen Mittelwert der Sänger von 24.4 Sek., der Nichtsänger von 33.9 Sek., der Sängerinnen von 23.1 Sek. und der Nichtsängerinnen von 18.8 Sek.

Der geringere Wert der Nichtsängerinnen ist dabei auch im Kontext der im Gruppenvergleich kleinsten Phonationszeiten (Mittelwert des Medians aller Phonationszeiten 19.9 Sek.) zu sehen. Die deutlich höhere interindividuelle Variabilität von 33.9 Sek. der Nichtsänger findet keine Erklärung in dem gemittelten Medianwert von 24.3 Sek. Bei den Sängern und Sängerinnen liegen ähnliche Werte von 25.0 und 27.5 Sek. als gemittelter Medianwert aller Phonationszeiten vor.

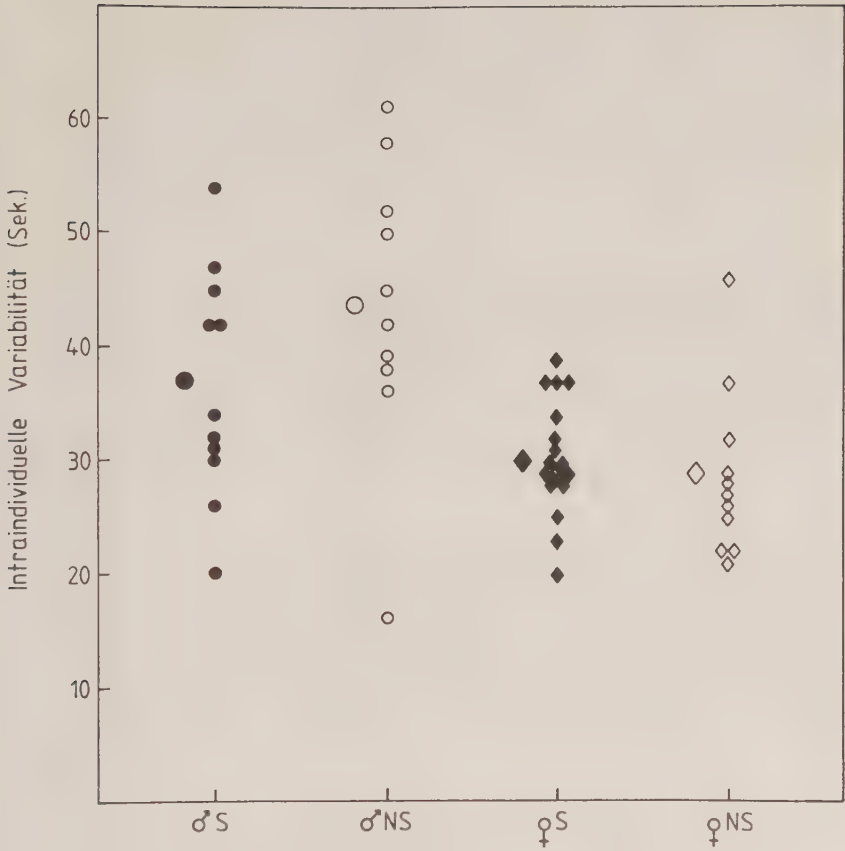


Abb. 9 a: Darstellung der intraindividuellen Variabilität der Tonhalte-
dauer (Sek.), berechnet aus 120 Phonationen aus der Differenz
der längsten und der kürzesten MPT für jeden einzelnen Proban-
den (● Sänger, ○ Nichtsänger, ◆ Sängerin, ◇ Nichtsängerin).
Gruppeninterner Mittelwert = ● ○ ◆ ◇ .

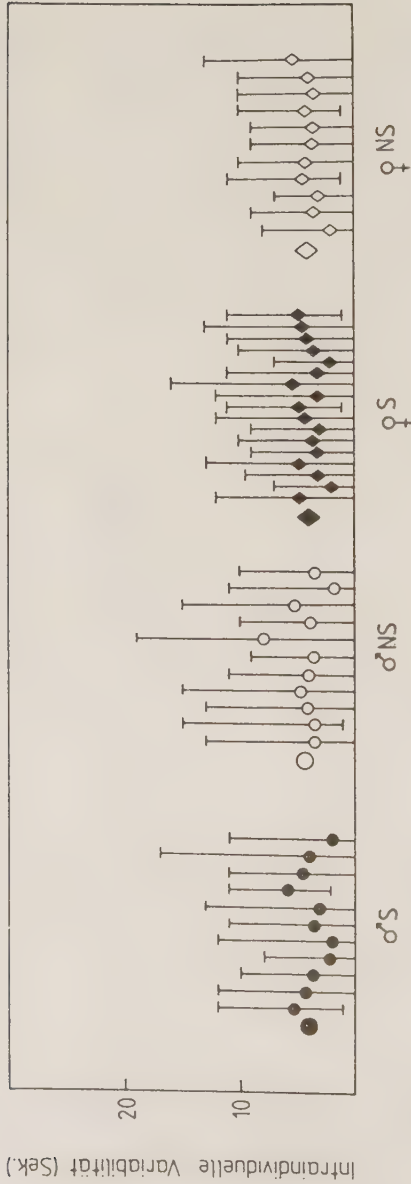


Abb. 9 b: Darstellung der intraindividuellen Variabilität der Tonhaltedauer (Sek.), berechnet aus je 3 Versuchen pro veränderter Phonationsbedingung für jeden Probanden einer Gruppe (S = Sänger, NS = Nichtsänger, ♂ = männlich, ♀ = weiblich), mit dem individuellen Mittelwert ● ♂S, ○ ♂NS, ◆ ♀S, ◇ ♀NS, der absoluten minimalen und maximalen Streubreite für jede Person, sowie dem Mittelwert der Gruppe ● ♂S, ○ ♂NS, ◆ ♀S, ◇ ♀NS.

Vokal /a/

Vokal /u/

Vokal /i/

TONHÖHE T1

dB	♂ S	♂ NS	♀ S	♀ NS	♂ S	♂ NS	♀ S	♀ NS	♂ S	♂ NS	♀ S	♀ NS
60	22 13-34	23 12-34	30 18-36	20 16-31	25 11-40	28 13-36	33 22-39	24 14-44	28 14-39	26 13-39	33 22-44	23 17-52
70	22 14-42	23 12-30	28 17-37	17 14-26	26 18-45	24 11-40	29 23-38	20 13-30	24 18-56	26 12-36	28 21-45	20 14-29
80	26 13-46	24 9-46	27 16-35	16 11-26	23 15-41	18 6-29	21 10-30	16 9-29	26 13-38	19 10-29	24 8-39	18 13-27
90	20 10-37	14 8-22	23 13-34	18 9-32	13 7-33				18 7-32			

TONHÖHE T2

60	31 20-47	25 12-50	33 21-40	26 15-40	29 21-52	30 18-57	32 22-46	27 19-48	31 21-57	30 12-48	33 24-42	24 21-53
70	27 18-40	20 9-36	34 20-44	20 13-41	29 22-46	23 13-47	36 27-47	24 13-48	28 20-41	27 11-57	35 25-48	25 17-51
80	24 16-34	18 8-45	24 16-34	16 9-24	28 17-37	20 13-46	30 13-47	16 9-24	25 17-35	33 11-49	29 18-41	16 14-33
90	22 11-28	20 8-29	16 9-34	11 4-18	17 8-21	19 6-24	15 12-31	12 6-18	18 10-25	19 6-27	19 12-30	13 10-18

TONHÖHE T3

60	31 22-57	30 12-61	31 23-38	26 19-38	36 24-58	41 14-64	34 19-42	28 19-45	35 26-56	37 15-65	34 20-45	26 18-46
70	28 19-41	26 10-43	32 18-43	22 19-40	35 23-48	33 12-45	33 25-46	28 15-44	32 25-45	31 12-61	35 23-48	24 14-40
80	24 15-36	22 9-56	25 13-39	18 14-30	24 18-34	22 13-51	31 20-47	21 15-26	23 15-37	21 9-56	30 20-48	18 14-28
90	20 10-31	20 9-55	15 11-31	12 9-17	16 10-21	11 4-44	22 13-38	13 9-16	20 9-26	13 8-34	20 15-33	13 10-18

TONHÖHE T4

60		35 12-57		26 13-33		37 15-68		25 12-32		41 13-65		18 14-34
70	31 17-60	25 11-53	32 21-42	28 15-37	35 23-51	31 19-61	27 17-46	24 14-32	31 20-61	33 11-56	28 14-42	19 13-30
80	27 14-39	16 8-50	29 15-43	21 16-32	35 20-58	22 12-40	30 15-40	21 15-33	35 15-46	23 9-60	30 13-41	18 11-33
90	18 7-27	14 8-50	26 16-48	16 12-19	20 9-30	12 9-22	25 10-37	15 11-22	23 10-27	13 7-24	25 9-50	15 8-20
100	15 7-25		16 10-27		12 8-20		17 7-27		14 10-21		16 8-26	

Tab. 2: Zusammenstellung der maximalen Phonationszeiten in Sekunden als Medianwert einer Gruppe (S =Sänger, NS =Nichtsänger, ♂=männlich, ♀=weiblich) mit Angabe der minimalen und maximalen Streubreite bei den 4 Schalldruckpegeln (60 - 90 Dezibel), den 4 Tonhöhen (T1 - T4) und den Vokalen /a/, /u/ und /i/.

7. Einfluß der Vitalkapazität auf die Tonhalteedauer

Es wurden folgende Vitalkapazitätswerte gemessen:

	Sänger	Nichtsänger	Sängerinnen	Nichtsängerinnen
mittl. VK (in ml)	5040 (113)	5250 (116)	3560 (111)	3800 (118)
min.-max.	3700-6100 (84-134)	4000-6200 (89-134)	2500-5000 (79-150)	3200-4500 (101-119)

In Klammern steht die Prozentangabe des vorbestimmten Wertes der Vitalkapazität (VK), berechnet nach der Baldwinformel:

$$VK = \sigma (27.63 - 0.112 \times \text{Alter}) \times \text{Größe}$$

$$VK = \varphi (21.78 - 0.101 \times \text{Alter}) \times \text{Größe}$$

Zwischen Normal- und Sängerstimme bestehen keine wesentlichen Unterschiede. Die Vitalkapazitätswerte der Nichtsänger liegen sogar mit einer mittleren VK von 5250 ml (116%) leicht über der der Sänger von 5040 ml (113%). Bei den Frauen sind die Verhältnisse ähnlich: Die Nichtsängerinnen liegen mit 3800 ml (118%) über den Sängerinnen mit 3560 ml (111%).

Alle vier Gruppen haben Durchschnittswerte größer als 100% nach der Baldwinformel, was auf normale Vitalkapazitäten schließen läßt.

Die Abbildung 10 zeigt das Verhältnis zwischen der Vitalkapazität (in l) und der Tonhalteedauer (in Sek.). Dabei wird der gemittelte Wert aus allen 4 Tonhöhen, 4 Schalldrucken und 3 Vokalqualitäten eines Probanden verwendet.

Bei den Frauen trennen sich deutlich die beiden Gruppen der Normal- und Sängerstimme: Bei ähnlichen VK-Werten haben die Sängerinnen höhere MPT-Werte. Innerhalb der Gruppe korreliert deutlich die Größe der Tonhalteedauer mit steigender Vitalkapazität.

Bei den Männern erscheinen die Verhältnisse in der graphischen Darstellung nicht vergleichbar eindeutig. Hier haben die Nichtsänger häufiger höhere Vitalkapazitäten bei ähnlicher MPT. Eine Beziehung zwischen Größe der Tonhalteedauer und Vitalkapazität ist innerhalb der Gruppe nur als Tendenz erkennbar.

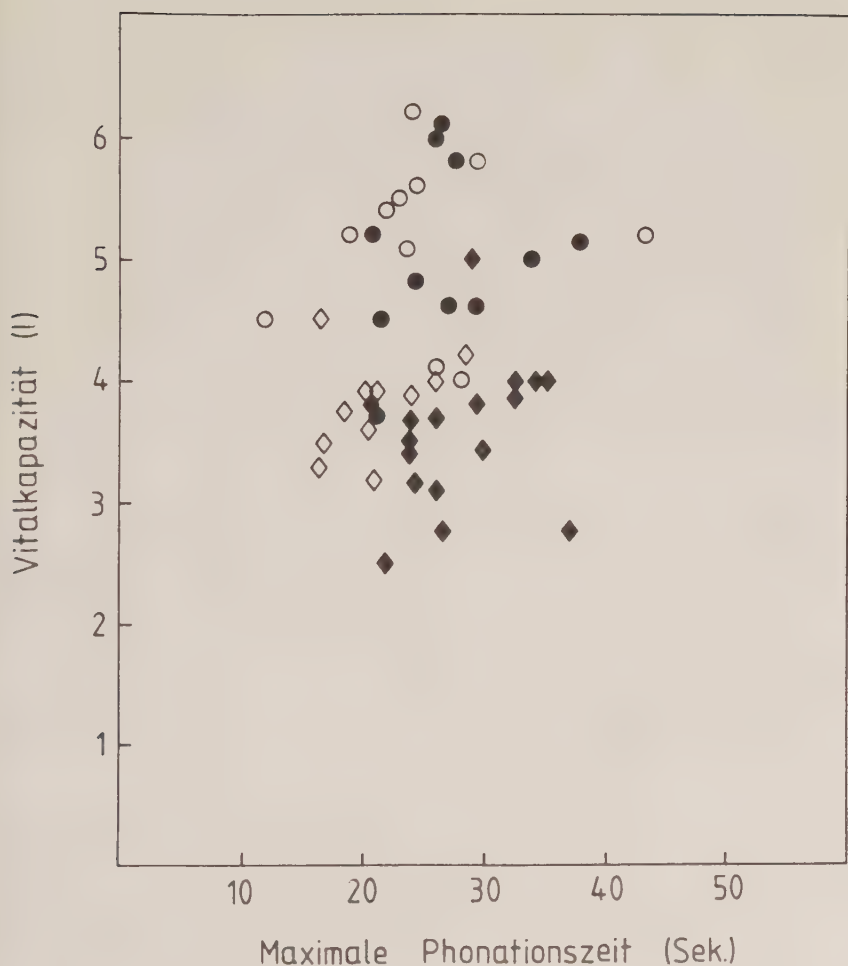


Abb. 10: Darstellung des Verhältnisses der Vitalkapazität (l) zur Tonhaltedauer (Mittelwert aller Phonationen in Sek.) jedes Individuums einer Gruppe (● Sänger, ○ Nichtsänger, ◆ Sängerin, ◇ Nichtsängerin).

8. Phonationsquotient

Der Phonationsquotient (PQ) ist definiert als Vitalkapazität dividiert durch die Tonhaltedauer.

Hirano et al. (19) halten den PQ für eine gute Approximation der Luftstromrate (mean flow rate, MFR). Sie wiesen eine Korrelation zwischen der MFR, die während der Tonhaltedauer gemessen wurde, und dem PQ bei normalen Personen nach.

Die Abbildung 11 zeigt eine Darstellung der errechneten PQ - Einzelwerte der vier Gruppen.

Die errechneten mittleren PQ-Werte sind: 129 ml/s für die Sängerinnen, 186 ml/s Nichtsängerinnen, 192 ml/s Sänger und 225 ml/s für die Nichtsänger.

Der Phonationsquotient der ausgebildeten Stimme liegt deutlich unter dem der Normalstimme. Der PQ der Frauen ist geringer als der der Männer.

9. Phonationsvolumen (errechnet)

Das Phonationsvolumen (PV) ist definiert als das totale Luftvolumen, das während der maximalen Phonation verbraucht wird.

Wir errechneten das Phonationsvolumen nach den Formeln von Yanagihara & Koike (63):

1. Für mittlere Tonlagen (♂ 118 Hz, ♀ 230 Hz), das ist relativ tief und entspricht unserem T1.

$$PV (ml) = 0.86 VK (ml) - 891$$

2. Für hohe Tonlagen (♂ 208 Hz, ♀ 390 Hz)-entspricht unserem T3

$$PV (ml) = 0.94 VK (ml) - 1186$$

Mit der ersten Gleichung ergaben sich für die Sänger ein Mittelwert von 3440 ml (min.: 2290 - max.: 4360), die Nichtsänger 3220 (2250 - 4400), die Sängerinnen 2170 (1260 - 3400) und die Nichtsängerinnen 2370 ml (1820 - 2980).

Mit der zweiten Gleichung errechneten wir folgende Werte: für die Sänger den Mittelwert 3530 (2290 - 4550), die Nichtsänger 3620 (2570 - 4640), die Sängerinnen 2160 (1160 - 3510) und die Nichtsängerinnen 2380 ml (1820 - 3040).

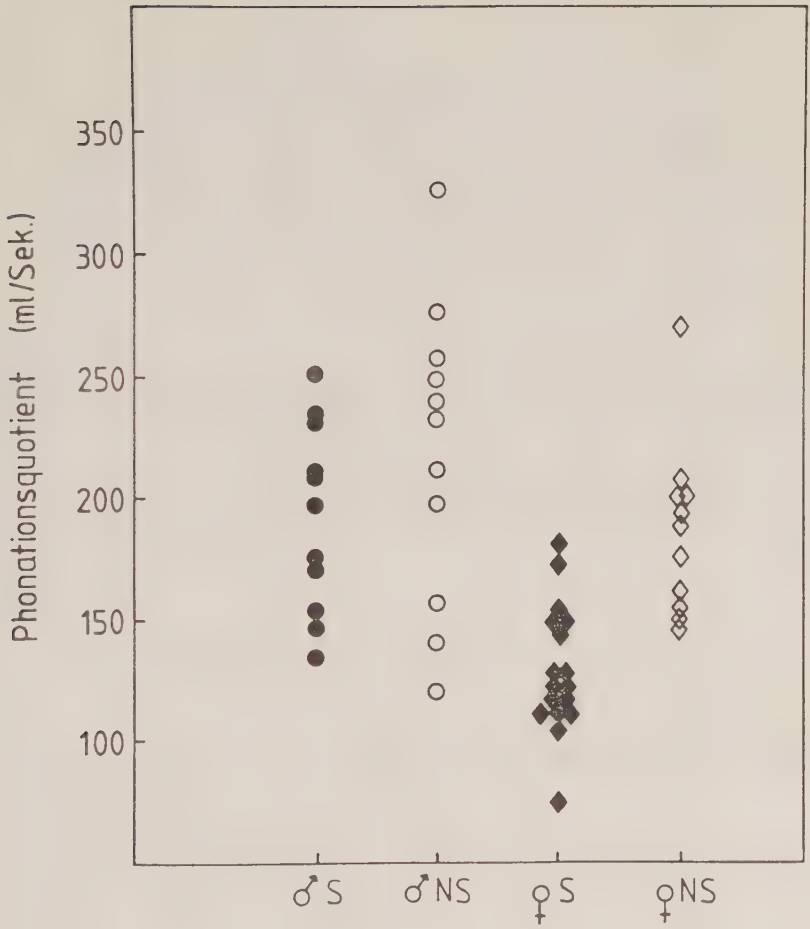


Abb. 11: Darstellung des Phonationsquotienten jedes Individuums einer Gruppe (S =Sänger, NS =Nichtsänger, ♂ =männlich, ♀ =weiblich).

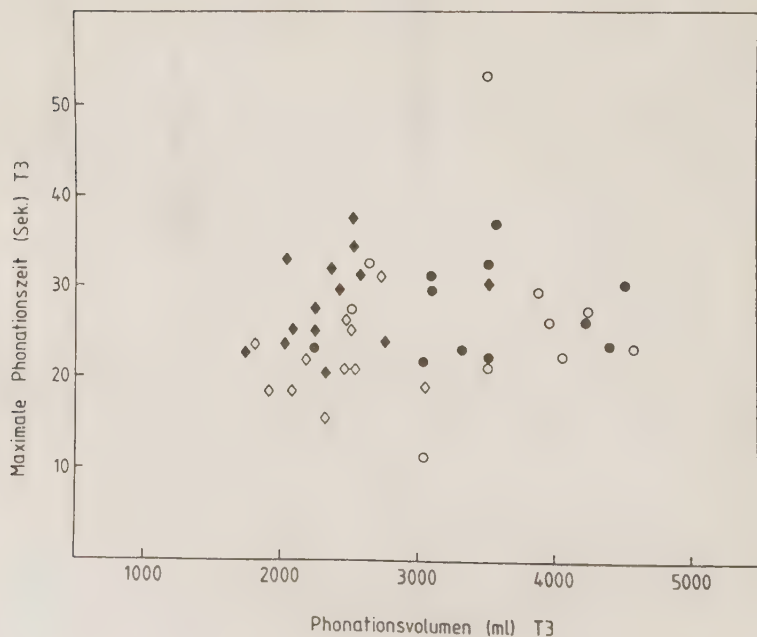
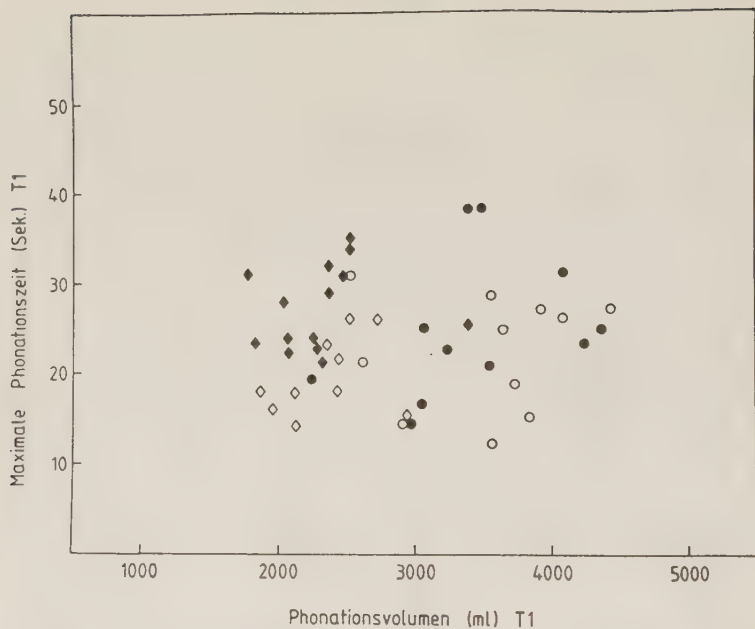


Abb. 12 a: Darstellung des Verhältnisses der Tonhaltedauer (Sek.) (gemittelt aus der Tonhöhe T1) zum errechneten Phonationsvolumen (ml) bei der Tonhöhe T1 jedes Individuums (● Sängers, ○ Nichtsängers, ◆ Sängerin, ◇ Nichtsängerin).
b: entsprechend MPT von T3 zum Phonationsvolumen von T3.

Die Abbildung 12 zeigt im Punktediagramm: a) das Verhältnis der Tonhaltezeit der Tonhöhe T1 zum (errechneten) PV der Formel 1 und b) das Verhältnis der MPT der Tonhöhe T3 zum PV der Formel 2.

Bei den Frauen ist auffallend: Bei vergleichbarem Phonationsvolumen ist die Tonhaltezeit der Sängerinnen größer als die der Nichtsängerinnen, sowohl bei T1 als auch T3. Auch läßt sich innerhalb der beiden Gruppen folgende Korrelation in Übereinstimmung mit Yanagihara & Koike (63) erkennen: Die Tonhaltezeit steigt proportional zum Phonationsvolumen an.

Bei den Männern ist diese Zunahme nur als Tendenz erkennbar.

10. Stimmfeld

Klingholz & Martin (28) zerlegen das Stimmfeld in 2, neuerdings 3 Subfelder, die sie Brust-, Mittel- und Kopfstimme zuordnen.

Komiyama et al. (29) führten den Begriff des "effective vocal volume" EVV ein, der ein quantitativer Parameter zur Beschreibung des Stimmfeldes darstellt.

In dieser Arbeit wird erstmalig das EVV auf die Subfelder angewandt.

Die durch die quantitative Auswertung des Stimmfeldes nach Klingholz & Martin (28) ermittelten Meßwerte der EVV sind wie folgt:

Register	Sänger	Nichtsänger	Sängerinnen	Nichtsängerinnen
Brustreg.	4.7	3.0	7.3	7.1
min.-max.	2.4-7.4	2.2-5.1	4.8-13.4	4.3-10.3
Mittelreg.	8.1	5.5	15.3	14.7
min.-max.	3.3-12.8	2.9-8.0	6.6-22.1	10.0-22.2
Kopfrege.	16.4	9.7	33.8	20.2
min.-max.	7.8-22.8	4.1-14.9	19.7-56.5	8.8-30.4

Die Abbildung 13 stellt graphisch die EVV der 3 Register als Vergleich zwischen Sänger- und Normalstimme getrennt nach Geschlechtern dar. Bei den Männern hat die Sängerstimme deutlich größere EVV-Werte in allen 3 Registern. Bei den Frauen hat die Sängerstimme nur im dritten Register (Kopfrege.) ein deutlich größeres EVV.

Die aufsteigende EVV von Register 1 bis 3 sowie die scheinbar größere EVV der Frauen erklärt sich aus der physikalischen Natur der Töne und der linearen Darstellung von Schalldruck in Dezibel auf der Ordinate und Frequenz in Hertz auf der Abszisse des Stimmfeldes.

Je tiefer die Töne, desto dichter liegen die Frequenzen zusammen. So beträgt z.B. der Unterschied zwischen A und H der Männerstimme 13 Hz, zwischen a1 und h1 dagegen (zwei Oktaven höher) sind es 54 Hz. Da die Frauenstimme genau eine Oktave (sog. Oktavsprung) über der Männerstimme liegt und die EVV-Werte sich aus der Fläche der Register errechnen, erklärt sich das größere EVV der Frauen.

Besteht nun eine Beziehung zwischen dem EVV eines Registers und der maximalen Phonationszeit?

Die Abbildung 14 a gibt eine Darstellung des EVV des 1. Registers (Brustregister) zum gemittelten Einzelwert der MPT der Tonhöhe T1 (wird mit der Bruststimme gesungen). Sänger- und Normalstimme sind getrennt nach Geschlecht zu vergleichen.

Bei den Frauen fällt auf, daß die Sängerinnen bei ähnlichen EVV-Werten länger als die Normalstimme phonieren können.

Anders bei den Männern: trotz größerer EVV-Werte der Sänger phonieren sie nicht länger.

Die Abbildung 14 b stellt entsprechend die EVV des 3. Registers (Kopfregister) zur Tonhaldedauer von T4 (Kopfstimme) dar.

Im Vergleich zu Abbildung 14 a (T1) korrelieren nun bei den Frauen steigende MPT-Werte mit anwachsendem Register-EVV, wobei die Nichtsängerinnen die kleineren Werte haben.

Auch bei den Männern liegt eine vergleichbare Tendenz vor, im Gegensatz zum Brustregister bei Tonhöhe T1.

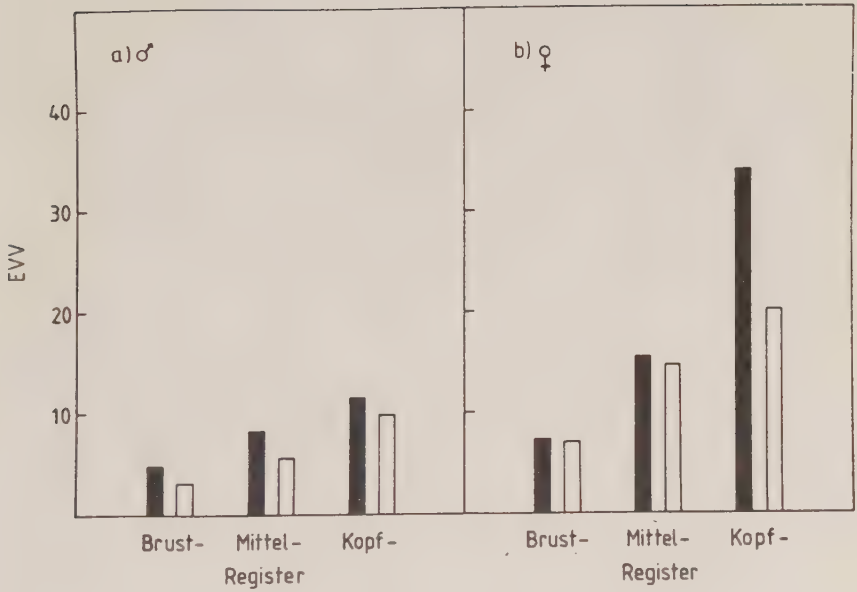


Abb. 13 a: Darstellung der gruppenweise gemittelten Werte der EEV ("effective vocal volume") des Brust-, Mittel- und Kopfregisters der Sänger (dunkle Säule) im Vergleich zu den Nichtsängern (helle Säule).

b: entsprechend für die Sängerinnen (dunkle Säule) und Nichtsängerinnen (helle Säule).

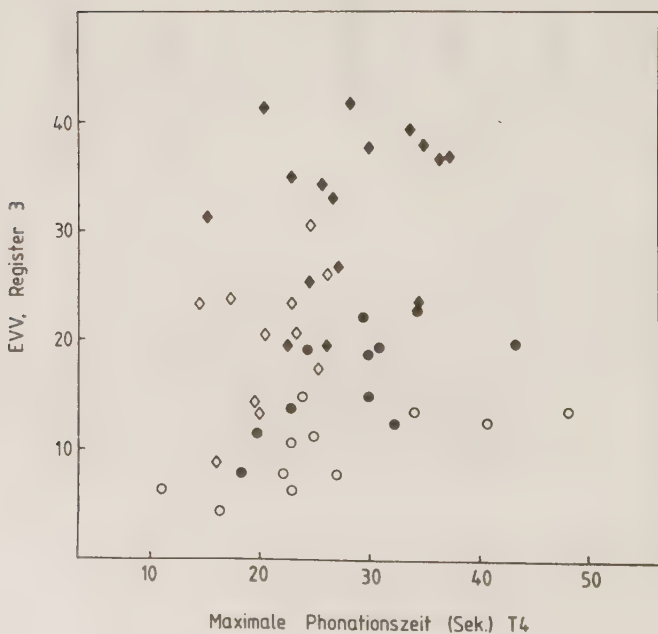
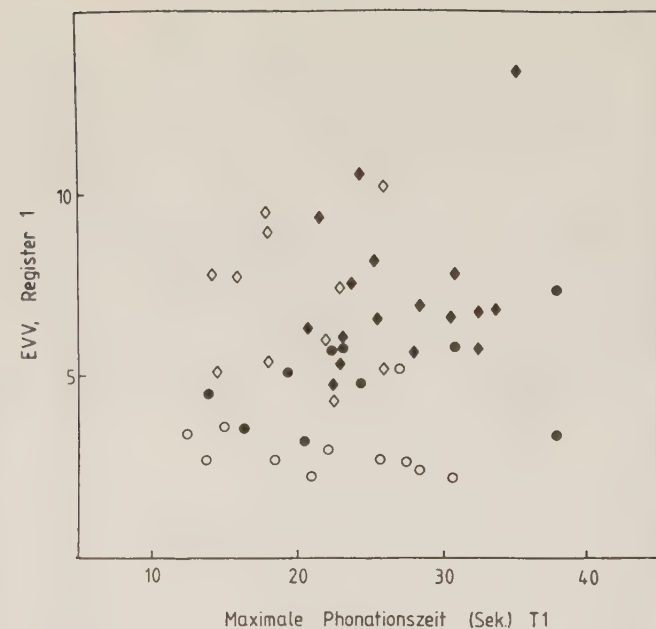


Abb. 14 a: Darstellung des Verhältnisses der EVV ("effective vocal volume") des Registers 1 (Brustregister) zur Tonhaltedauer von T1 (gemittelter Wert der Tonhöhe T1) jedes einzelnen Probanden.
 b: entsprechend die EVV des Registers 3 (Kopfregister) zur MPT von

IV DISKUSSION

1. Diskussion der Methodik

Die Dauer eines Versuchsdurchganges beträgt mindestens vier Stunden. Während dieser Zeit muß der Proband 120 verschiedene Phonationen leisten, wobei man sich vergegenwärtigen sollte, daß es sich dabei um die "maximale" Phonationszeit handelt, d.h. jedesmal soll an die Leistungsgrenze vorgedrungen werden.

Das verlangt eine enorme körperliche sowie geistige Anstrengung. Selbst für den Sänger stellt dies eine ungewohnte Anforderung dar: geht es doch hier um rein statisches Tonhalten; Singen ist jedoch dynamischer Tonwechsel. Nur selten wird in der Gesangsliteratur ein Tonhalten von über 20 Sekunden verlangt (41). Daß es erst recht eine ungewohnte Anforderung für Normalstimmen ist, bedarf wohl keiner weiteren Betonung.

Inwieweit spielt nun die Ermüdung einerseits, der Trainingseffekt andererseits eine Rolle? Ein Vergleich der ersten Phonation (T1/a/) mit den letzten Phonationsfolgen (T4/i/) - (Tab.2, S. 22) - macht einen großen Ermüdungseffekt unwahrscheinlich. Es ist aber nicht auszuschließen, daß sich Ermüdung und Training die Waage halten oder doch die Übung überwiegt. Bei den meisten Probanden machten wir allerdings nach dem Versuchsdurchgang Stichproben, indem wir sie eine Phonation aus der ersten Versuchshälfte wiederholen ließen. Das Resultat variierte nur um wenige Sekunden. Dies läßt annehmen, daß der Einfluß der Parameter Tonhöhe, Stimm Schalldruck und Vokalqualität auf die Tonhaltedauer bei diesem Versuch relevanter sind, als andere Variable wie z.B. Ermüdung und Übungseffekt.

Die stimmliche Belastung wurde bei einigen Nichtsängern - trotz der Pausen - zum Problem und führte zu leichtem Kratzen im Hals bis zur Heiserkeit in 3 Fällen. Wir brachen den Versuch ab und machten mit dem letzten Drittel der Phonationen an einem der folgenden Tage weiter. Dabei war nach Aussage der Probanden die Heiserkeit innerhalb von wenigen Stunden reversibel.

Da sich der 90 dB Pegel frühzeitig als sehr belastend für die Normalstimme erwies, reduzierten wir die Versuchszahl von drei auf einen (siehe Kap. II). Über Schwierigkeiten der untrainierten Stimme bei großem Schalldruck berichtet auch Schultz-Coulon (49 I).

Ähnliche in Betracht gezogene Überlegungen bestimmten die Wahl der Versuchsreihenfolge: Beginnend mit dem Vokal /a/ wird dieser nacheinander mit den Schalldrücken 60, 70, 80 und 90 dB phoniert, sodann wird mit dem Vokal /u/ und schließlich mit dem Vokal /i/ in gleicher Weise verfahren. Bei einer anderen Reihenfolge, etwa alle Vokale erst leise und im folgenden alle lauter zu phonieren, wäre manche nichtausgebildete Stimme frühzeitig bei mittellauter Phonation durch die ungewohnte Belastung heiser geworden.

Bei der dieser Arbeit zugrunde liegenden Versuchsanordnung hatte der Proband je 3 Phonationen pro verändertem Parameter. Stone (54) und auch Lewis et al. (33) untersuchten die MPT hinsichtlich der Funktion der Versuchsanzahl. Sie kommen zu dem Ergebnis, daß erst 15 bzw. 20 Versuche ausreichen, um die MPT zu ermitteln. Für unsere Versuchsreihe wäre das kaum praktikabel (s.o.) und wohl auch nicht für eine Standardisierung der MPT in der Routine. Shanks & Mast (52) halten 4 Durchgänge für ausreichend. Unseren Probanden wurde die Aufgabe mündlich erklärt und die erste Phonation vorgemacht. Dies Vorgehen führt nach Neiman & Edeson (38) gegenüber alleiniger mündlicher Beschreibung zu vergleichbaren Werten bei schon 3 Versuchen.

Musikalische Schwierigkeiten traten bei einigen Nichtsängern auf. Über ähnliches berichtet auch Schultz-Coulon (49 I). Dabei fiel Personen mit geringer (z.B. 1-jährige Klavierausbildung oder Blockflötenspiel in der Volksschule) musikalischer Erfahrung das Nachsingen und Intonieren wesentlich leichter, als solchen mit bislang gar keinem Kontakt zur Musik. Das größte Maß an Musikalität wurde allerdings im Vorversuch bei der Stimmfeldermittlung verlangt. Dieser erforderte einiges an Geduld und Zuspruch vom Untersucher. Das Gehör der betreffenden Probanden lernte erstaunlich schnell, so daß sie im eigentlichen Versuch den wieder geringeren musikalischen Anforderungen gut gewachsen waren. Die Intonationsschwierigkeiten schwankten dabei im Extremfall bis zum Ganzton. Selbst beim Sänger traten Schwankungen bis zum Viertelton auf.

Beim Schalldruck wurde eine Schwankungsbreite von 3 Dezibel toleriert.

Die Sängerstimme beherrscht den Vokalausgleich, d.h. das Bemühen, den Vokaldualismus zwischen hellen (/e/, /i/) und dunklen (/o/, /u/) Vokalen zu überwinden und eine Verbindung zwischen den beiden Gruppen herzustellen (61). In dem Versuch wurden die Sänger aufgefordert, die Vokale /u/ und /i/ möglichst "rein" zu singen. Wichtig war dies besonders bei T1 90 dB: /u/ und /i/ konnten bei diesem Schalldruck nicht phoniert werden; mit übertriebenem Vokalausgleich bzw. Beimischen von /o/ und /e//ä/ Klängen gelang es besser. Interessanterweise versuchten es mehrere Nichtsänger unbewußt auch mit dieser Veränderung im Ansatzrohr.

Bei hoher Tonhöhe (T4) trat bei einigen männlichen Normalstimmen ein Registerwechsel zwischen Kopfstimme und Falsett auf; bzw. bei leiser Lautstärke war nicht eindeutig feststellbar, in welchem Register sich der Proband befand. Entsprechendes stellten Ptacek & Sander (42) in ihrer Arbeit fest. Gerade die mittlere Stromflußrate ist im Falsett erheblich höher als im Kopfregeister (20,32). Als Standardtonhöhe ist T4 also nicht gut geeignet.

Im Gegensatz zur Normalstimme kann der gute Sänger jedes gewünschte Register produzieren. Das heißt nichts anderes, als daß er die Hauptfunktionen der inneren Kehlkopfmuskulaturen getrennt voneinander in Bewegung bringen kann (22).

Ziel jeder sängerischen Ausbildung ist der Registereausgleich mit der idealen Annäherung zum Einregister (1,36,58,61).

So sollten in dem Versuch die Sänger(innen) mit schöner Stimme singen, eine spezifische Registeranweisung erfolgte daher nicht.

Bei Stimmgrenzleistungen, wie z.B. T1 90 dB, wurde meist von selbst auf reines Brustregister gewechselt, wenn sonst die Lautstärke nicht erreicht wurde. Anderenfalls wurde vom Untersucher darauf hingewiesen.

In mittleren und hohen Lagen wurde bei einigen Sängern probenhalber zwischen gemischter und reiner Brust- bzw. Kopfstimme gewechselt. Die Unterschiede lagen allerdings innerhalb der intraindividuellen Variabilität der drei Versuche pro veränderter Phonationsbedingung (etwa 4 Sek., s. Ergebnisse S.20).

2. Diskussion der Ergebnisse

Unsere Ergebnisse zeigen folgende Tendenz auf:

Mit zunehmendem Stimm Schalldruck wird die Tonhaltezeit kürzer, gleichermaßen bei Sängern und Nichtsängern.

Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Arbeit von Vogelsanger (59): Bei größerer Lautstärke steigt der Luftverbrauch ungefähr proportional der Quadratwurzel aus dem Schalldruck an; in der graphischen Darstellung ergibt sich hierfür eine Parabel. Die Aussage wurde von Van den Berg (55) bestätigt.

Der proportional der Quadratwurzel aus dem Schalldruck ansteigende Luftverbrauch erbringt eine Erklärung für unsere Feststellung, daß die stärkste Verkürzung der MPT bei der Steigerung von 80 auf 90 dB auftritt (bzw. von 90 auf 100 dB, was nur durchweg von der ausgebildeten Stimme erreicht wird).

Die Arbeit von Ptacek & Sander (42) differenziert als einzige den Schalldruck bei der MPT, jedoch nur bei Normalstimmen. Mit den unsrigen vergleichbare Ergebnisse erhalten sie nur in der Höhe (400 Hz) bei weiblichen Normalstimmen. Bei tiefer Tonhöhe dagegen stellen sie keine wesentliche Beeinflussung der maximalen Tonhaltezeit durch eine Änderung des Schalldrucks fest. Ptacek & Sander bemerken aber auch, daß bei Einzelpersonen oft ein wesentlicher Anstieg/Abfall der MPT mit Änderung des Schalldrucks auftrat.

Abbildung 2 unserer Ergebnisse zeigt, daß bei den Nichtsängerinnen bei T1 auf Vokal /a/ bei 90 dB der Mittelwert der MPT leicht zunimmt. Interessant ist hierbei die Betrachtung der Einzelwerte: 50% der Probanden zeigen eine erhebliche Steigerung bis über das Doppelte der Ausgangszeit, die anderen 50% eine kürzere MPT. Dieser Anstieg der Tonhaltezeit tritt dabei nur beim Vokal /a/ auf. Auffallend war dem Untersucher die völlig veränderte Klangqualität: Bei den 50% mit gesteigerter Tonhaltezeit (eine Nichtsängerin konnte den Ton sogar länger halten als die Sängerinnen), war es ein brustiger, "grölender" Ton. Bei 2 von 11 Nichtsängern war das gleiche Phänomen zu beobachten: bei T1 /a/ 90 dB eine Steigerung der MPT verbunden mit veränderter Klangqualität. Bei einem Probanden trat dies

allerdings schon bei 80 dB auf, (Mit 49 Sek. lieferte dieser Proband dabei seinen subjektiv als mühelos empfundenen persönlichen Rekord, der auch von den 110 folgenden Phonationen nicht überboten wurde). Bei 90 dB hingegen entsprach seine Phonationszeit mit 11 Sek. (subjektiv mühevoll mit Halsweh) einem durchschnittlichen Wert.

Unsere Ergebnisse zeigen weiterhin, daß die Sängerstimme höhere MPT-Werte leistet als die Normalstimme. Diesen Unterschied fanden wir bei den Frauen durchweg eindeutig, dagegen bei den Männern eingeschränkt auf die Höhe (T4) und große Lautstärken. Ein Vergleich mit der Literatur fehlt, da wir erstmalig die MPT systematisch an Sängern und Nichtsängern untersuchten. Lediglich Frank & Donner (11) verglichen im Rahmen einer Stimmfelduntersuchung die Tonhaltezeit bei je 23 Sängerinnen und Nichtsängerinnen für minimale und maximale Schalldrücke (s. Tab. 1). Sie fanden weder zwischen der weiblichen ausgebildeten bzw. Normalstimme noch zwischen laut und leise einen Unterschied. Auch die Arbeiten von Ptacek & Sander (42) (5 Probanden mit Gesangsunterricht hatten längere Tonhaltezeiten, ohne besondere Angaben) und Yanagihara et al. (62), (die längere MPT-Werte von Sängern voraussetzten, allerdings ohne weitere Literaturangaben), liefern uns nur eingeschränkt Hinweise.

Der deutliche Geschlechtsunterschied der Normalstimmen bei der Tonhaltezeit wurde von mehreren Untersuchern belegt (10, 23, 38, 42, 43, 52; s. Tab. 1). Unsere Ergebnisse bestätigen dies für die Nichtsänger, wobei die längeren Phonationszeiten von den männlichen Probanden erzielt wurden. Bei der ausgebildeten Stimme hingegen stellten wir nur gering höhere MPT-Werte der Frauen fest und befinden uns damit im Einklang mit Vogelsanger (59), der keinen Geschlechtsunterschied bei Gesangsstimmen fand.

Die Tonproduktion bei vorgegebenem Stimmschalldruck erfordert den adäquaten subglottischen Druck (41), gleichzeitig dazu die exakte Balance zwischen inspiratorischer und expiratorischer Muskelkraft, die direkten Bezug zur elastischen Kraft und dem Volumen der Lunge in jedem Moment nimmt (23, 31, 37). Der Sänger beherrscht durch seine jahrelange Stimmbildung dieses komplexe Zusammenspiel besser bzw. feiner als die Normalstimme.

Stimmschalldruck ist eine lineare Funktion des subglottischen Druckes und wird damit in erster Linie von dem jeweiligen Aufwand an expiratorischer Kraft bestimmt (48,50). Die laryngeale Muskelaktivität hat dabei für den erforderlichen Glottiswiderstand zu sorgen. In tiefen und mittelhohen Tonlagen nehmen an der Intensitätsregelung die Veränderung des Glottiswiderstandes und die Änderung der Öffnungsfunktion der Glottis teil (laryngeale Kontrolle), bei hohen Tönen unterliegt die Lautstärkekontrolle ausschließlich aerodynamischen Größen (expiratorische Muskelkontrolle) (12,21,25,44,45).

Der Sänger steigert den Stimmschalldruck unter annähernd gleichmäßiger Vergrößerung von subglottischen Druck und Luftstromrate, der Glottiswiderstand bleibt fast konstant. Die untrainierte Stimme vergrößert dagegen hauptsächlich den Widerstand (5). Der Sänger gibt also ein Beispiel für eine ausgewogene Balance zwischen laryngealer Muskelaktivität und Atemapparat.

Der Widerstand der Glottis ist dabei mit zunehmendem Schalldruck bei der Aufrechterhaltung des Tones von größerer Bedeutung als der Luftstrom. Schlechte Singtechnik übt einen deutlich störenden Einfluß auf das Strom-Druck-Verhältnis aus. Inadäquates Atmen sowie falsche Atemstütze fördern die Verminderung der Stimmqualität und verursachen sekundär störende Spannungen der Glottis (45).

Wir stellten in den Ergebnissen folgende Tendenz fest: Mit zunehmender Tonhöhe steigt die Tonhaltedauer leicht an oder bleibt gleich. Der Vergleich mit der Literatur zeigt: Ptacek & Sander (42) differenzieren zwei Tonhöhen tief und hoch (entsprechend unseren T1/T3), dabei steigt bei den Frauen die MPT bei leisen Schalldrucken und fällt bei lauten. Bei den Männern ist sie im Piano gleichbleibend und fällt auch im Forte. Bei Yanagihara & Koike (63) verkürzt sich ebenfalls die MPT mit zunehmender Tonhöhe. Differenziert werden die Tonhöhen tief, mittel und hoch; jedoch liegen die beiden ersten sehr nah beieinander und entsprechen unserem T1, die hohe dem T3. Ergänzend dazu sei erwähnt, daß auch bei uns mehrere "Ausnahmen" mit fallender Tonhaltedauer vorkamen (s. Abb. 5-7).

Nicht nur die Steigerung des Schalldrucks, sondern auch die Anhebung der Tonhöhe ist mit einer Erhöhung des subglottischen Druckes verbunden (39,45). Die verstärkte Stimmlippenspannung bei ansteigender Tonhöhe benötigt eine entsprechende Vergrößerung des subglottischen Anblasedruckes über dem größten Teil des Stimmumfanges. Er nimmt proportional zur Frequenzsteigerung zu, ohne selbst ein primär tonhöhenregulierender Faktor zu sein. Die Tonhöhenregulation ist in erster Linie eine muskuläre Aufgabe (unter der Führung von Mm. cricothyreoideus und vocalis) (48). Jede Tonhöhensteigerung verlangt eine Zunahme der Muskelaktivitäten, erfordert also einen erhöhten Kraftaufwand.

Dieser Umstand dürfte mit dazu beitragen, daß bei unseren Ergebnissen die Nichtsänger schließlich in der Höhe (T4) nicht mehr mit den MPT-Werten der Sänger (trainierte Laryngealmuskeln) mithalten konnten.

Bei der Normalstimme (männlich und weiblich) beobachteten wir fast regelmäßig das Phänomen, daß in der Tiefe (T1), beim ersten Versuch die größten Schalldrucke (90 dB) zu produzieren, der Ton bis zu drei Ganztöne zu hoch intoniert wurde. Sehr tiefe Töne, durch entspannte Stimmbänder produziert, erfordern einen höheren Luftstrom (41), gleichzeitig führt verstärktes Anblasen bei konstanter Stimmlippenspannung zur Anhebung der Schwingungsfrequenz, wie experimentelle Arbeiten zeigten (17,30,56).

Bei geringem Schalldruck in hoher Tonlage fiel einigen Probanden ein pulssynchrones Schwingen des Tones auf, das durch Radialispalpation des Untersuchers bestätigt werden konnte. Denkbar wäre dabei eine Beeinflussung des subglottischen Druckes durch die arterielle intrathorakale Pulswelle.

Wir stellten in den Ergebnissen fest, daß der Einfluß der Vokalqualität auf die Tonhaltedauer nicht eindeutig ist.

Als Besonderheit fiel auf: Schalldrucke von 90 dB konnten in der Tiefe (T1) nur mit dem Vokal /a/ phoniert werden, nicht dagegen mit /u/ und /i/ (selbst vielen Gesangsstimmen war dies nicht möglich). Vennard (58) zitiert in seinem Buch Isshiki:

"Wenn ein Sänger aufgefordert wird /i/, /u/ und /a/ mit gleicher Lautstärke zu singen, wird er /a/ lauter singen." Denn er schätzt die Lautstärke nach der Anstrengung ein. In dem Experiment war der subglottische Druck für /a/ und /u/ gleich, /a/ aber lauter, weil die Mundöffnung größer ist; der subglottische Druck für /i/ war höher. Nach Vennard (58) ist der Vokal /a/ für sehr laute Phonationen am besten geeignet, da /a/ dem Originalglottiston am nächsten kommt. Seine Konfiguration des Vokaltraktes wirkt wie ein nichtselektiver Resonator, der alle Töne widerhallt und primär verstärkt. In dem Experiment von Isshiki werden zweitens die drei Sänger aufgefordert, die Vokale mit eigener Schalldruckkontrolle auf dem Schallpegelmesser zu phonieren. Dabei ist der subglottische Druck für /i/ am höchsten, geringer für /u/ und am geringsten für /a/ (58). Der Vokal /i/ muß also mit mehr Aufwand als /a/ phoniert werden. Diese Aussage bestätigen auch die in den Formantbereichen 1 und 2 konzentrierten Energien gemessen von Fant (10) und Peterson & Barney (40): Die Formantamplitudendifferenz von /a/ im Formant 1 (in dB) beträgt: 0, im Formant 2: -6, von /i/ im Formant 1: -7 und im Formant 2: -23 (Fant), bzw. von /i/ im Formant 1: -5 und im Formant 2: -25 (Peterson & Barney).

Der Vergleich unserer Werte der Vitalkapazität mit in der Literatur angegebenen zeigt: unsere Mittelwerte der Normalstimme (♂: 5250 ml, ♀: 3800 ml) sind höher als die von Yanagihara & Koike (63) (♂: 4730 ml, ♀: 3630 ml), Rau & Beckett (43) (♂: 4300 ml, ♀: 2970 ml) und gering niedriger als bei Bastian et al. (4) (♀: 3900 ml).

Wir fanden keinen wesentlichen Unterschied zwischen Normalstimmen und Sängern (die Werte der Gesangsstimmen lagen mit ♂: 5040 ml und ♀: 3560 ml sogar unter denen der Normalstimmen). Unsere Meßwerte bestätigen so die Ergebnisse von Heller et al. (18) und Gould & Okamura (13). Letztere konnten zeigen, daß Sänger ihre Lungenkapazität signifikant besser nutzen können als untrainierte Stimmen. Schlüsselfaktor ist eine Änderung im Verhältnis von Residualvolumen zur totalen Lungenkapazität. Dieser Quotient ist bei Sängern kleiner als bei Gesangsstudie-

renden, bei denen wiederum geringer als bei Normalstimmen. (Auch Proctor (41) berichtet, daß der Sänger, wenn nötig, fast bis zum Erreichen des Residualvolumens weitersingen kann.)

Im Verhältnis von Vitalkapazität zur Tonhaltezeit ist bei den Sängerinnen und Nichtsängerinnen jeweils eine Korrelation zwischen Anstieg der VK und Anwachsen der MPT erkennbar, bei insgesamt ähnlichen VK-Werten.

Bei den Männern läßt sich eine ähnliche Korrelation aus den gewonnenen Daten nur interpretieren, da gruppengleiche MPT-Werte bei insgesamt etwas höheren VK-Werten der Nichtsänger vorliegen. Unter der Annahme gleicher Vitalkapazitäten und damit etwas geringeren absoluten MPT-Werten seitens der Nichtsänger, wäre eine Korrelation zwischen Anstieg der VK und Anwachsen der Tonhaltezeit gegeben. Dabei setzen wir eine zufällige, nicht repräsentative Selektion der VK-Werte unserer Nichtsänger zu etwas höheren Werten voraus.

Das Phonationsvolumen (PV) ist definiert als das totale Luftvolumen, das während der maximalen Phonation verbraucht wird. Gewöhnlich ist es kleiner als die Vitalkapazität (15,23,61, 62,65). Das Verhältnis von PV zu VK beträgt 50 - 78% bei Yanagihara et al. (62), 69 - 95% bei Isshiki et al. (23) und 68 - 114% bei Yoshioka et al. (65). Wir errechneten das Phonationsvolumen nach den Formeln von Yanagihara (s. Ergebnisse), der in seiner Arbeit eine Korrelation zwischen PV und MPT postuliert. Interessanterweise konnten wir bei den Frauen bei Einschränkung auf die Gruppe der Sängerinnen bzw. Nichtsängerinnen diese Korrelation erkennen, dagegen nur angedeutet, mit erheblicher Streubreite, bei den Männern.

Der Phonationsquotient (PQ) ist als Vitalkapazität durch die maximale Phonationszeit definiert. Aus oben Gesagtem folgt, daß der PQ normalerweise größer als die mittlere Stromflußquote (mean flow rate, MFR) während der Tonhaltezeit ist ($MFR = PV/MPT$). Hirano et al. (19) zeigten die Beziehung zwischen der MPT und dem PQ auf. Sie empfahlen den PQ als klinischen Ersatz für die aufwendiger zu messende MFR.

Iwata et al. (26) und Yoshioka et al. (65) bestätigten diesen Zusammenhang für pathologische Fälle.

Der Phonationsquotient für normale Erwachsene beträgt durchschnittlich 120 bis 190 ml/s. Als obere Grenze der normalen Variation werden je nach Autor Werte von 200 bis 300 ml/s angegeben (19,46,53,65).

Unsere PQ-Werte fallen in diesen Rahmen, wobei die Nichtsänger sich teilweise der oberen Grenze nähern.

Auffallend ist ein deutlicher Geschlechtsunterschied (auch bei den Sängern): Der PQ der Frauen ist geringer als der der Männer – im Gegensatz zu den zitierten Autoren. Der PQ der ausgebildeten Stimme ist niedriger als der der Normalstimme.

Nach obigen Erläuterungen (über den subglottischen Druck, Glottiswiderstand, Ausnutzung der Vitalkapazität) scheint das erklärlich. Der kleinere Phonationsquotient (stellvertretend für die MFR) spricht für eine effizientere Atemausnutzung der Singstimme, bei der der Luftstrom durch die vibrierenden Stimmbänder so gering wie möglich gehalten wird (7).

Viele Autoren konnten bestätigen, daß Sänger bei Piano- und Pianoforte Tönen wesentlich weniger Luft verbrauchten als untrainierte Stimmen (7,36,41,59). Nach Schultz-Coulon (48) beruht das einerseits auf einem besseren Glottisschluß, andererseits auch auf einer relativen Verkürzung der Öffnungszeit mit effektiverer Nutzung des Luftstromes.

Die Studie von Brown et al. (6) zeigte, daß die bisher zur Ermittlung der Tonhaltezeit verbreitete Anweisung "bequeme" Lautstärke als eine experimentelle Variable anzusehen ist, mit Tag zu Tag-Unterschieden der Versuchsperson bis zu 25 dB Schalldruck. Wir konnten in dieser Untersuchung den Einfluß der Lautstärke auf die Tonhaltezeit im Sinne einer deutlichen Verkürzung mit zunehmendem Schalldruck aufzeigen. Gleichzeitig stellten wir fest, daß durch die Bestimmung der Parameter Schalldruck, Tonhöhe und Vokal die intraindividuelle Variabilität sich auf durchschnittlich 4 Sekunden reduzierte. Wir empfehlen daher bei der Ermittlung der MPT:

1. Die Kontrolle des Schalldrucks mit einem Schallpegelmesser - Standardisierung auf 70 dB erscheint uns besonders gut geeignet, weil dies einem "angenehmen" Schalldruck für die Tonhöhe der mittleren Sprechstimmlage entspräche.
2. Die Bestimmung der Tonhöhe - als Standard wäre die mittlere Sprechstimmlage des Patienten zu bevorzugen.
3. Die Festlegung auf einen bestimmten Vokal - in Anlehnung an die bisher übliche Praxis (s. Tab. 1, S. 4) am besten Vokal /a/.
4. Als Untersuchungsmodus (38,52): Nach Demonstration der ersten Phonation einen Versuch zur Probe, dann folgen 3 Versuche, unterbrochen durch je 60 Sekunden Pause.

V ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Untersuchung ermittelten wir an insgesamt 50 Probanden, davon 22 Nichtsänger(innen) und 28 Sänger(innen), die maximale Phonationszeit bei vier verschiedenen Schalldrücken (60, 70, 80, 90 dB), vier Tonhöhen (Männer: 110, 165, 220, 330 Hz, Frauen: 220, 330, 440, 659 Hz) und den drei Hauptvokalen /a/, /u/ und /i/.

Die Ergebnisse zeigen:

- a) daß sich die Tonhaltdauer mit zunehmendem Schalldruck deutlich verkürzt,
- b) dagegen ein Ansteigen der Frequenz eine gleichbleibende oder ein nur leichtes Zunehmen der Tonhaltdauer zur Folge hat,
- c) keinen eindeutigen Einfluß des Vokales auf die MPT; außer: in tiefer Tonlage bei hohem Schalldruck (90 dB) kann nur mit dem Vokal /a/ phoniert werden, nicht hingegen mit /u/ und /i/ (selbst vielen Gesangsstimmen war dies nicht möglich),
- d) daß die Gesangsstimme längere maximale Phonationszeiten als die Normalstimme hat. Der Unterschied ist bei den Frauen eindeutig, bei den Männern eingeschränkt auf die Höhe (T4) und große Schalldrücke,
- e) daß die Männer bei den Normalstimmen längere Tonhaltdauern als die Frauen aufweisen, dagegen bei den Gesangsstimmen der Geschlechtseinfluß zu vernachlässigen ist,
- f) daß die intraindividuelle Variabilität des Probanden pro drei Versuche bei Bestimmung der Parameter Schalldruck, Tonhöhe und Vokalqualität sich gleichermaßen bei aus- und unausgebildeter Stimme auf durchschnittlich 4 Sekunden reduziert.

Wir empfehlen für die Ermittlung der Tonhaltdauer die Standardisierung der Phonation auf den Vokal /a/, des Schalldrucks auf 70 dB (kontrolliert durch einen Schallpegelmesser) und der Frequenz entsprechend der Tonhöhe der individuellen mittleren Sprechstimmlage.

VI LITERATURVERZEICHNIS

- (1) ARNOLD G.E.:
Vocal rehabilitation of paralytic dysphonia. II. Acoustical analysis of vocal function. Arch.Otolaryngol. 62, 593-601, (1955)
- (2) ARNOLD G.E.:
Vocal rehabilitation of paralytic dysphonia. VIII. Phoniatric methods of vocal compensation. Arch.Otolaryngol. 76, 88-95, (1962)
- (3) ARNOLD G.E.:
Vocal rehabilitation of paralytic dysphonia. X. Functional results of intrachordal injections. Arch.Otolaryngol. 78, 81-88, (1963)
- (4) BASTIAN H.-J., SASAMA R., UNGER E.:
Aerodynamische Leistungsprüfung und Funktionsdiagnostik der normalen Frauenstimme. Folia Phoniat. 30, 85-93, (1978)
- (5) BOUHUYS A., MEAD J., PROCTOR D.F., STEVENS K.N.:
Pressure-flow events during singing. Ann.NY Acad.Sci. 155, 165-176, (1968)
- (6) BROWN Jr. W.S., MURRY T., HUGHES D.:
Comfortable effort level: An experimental variable J.Acoust.Soc.Am., Vol.60, No.3, 696-699, (1976)
- (7) CAVAGNA G.A., MARGARIA R.:
Airflow rates and efficiency changes during phonation Ann.NY Acad.Sci. 155, 152-164, (1968)
- (8) DÖHNE R.:
Die organisch bedingte einseitige Leitungsunterbrechung des Nervus laryngeus inferior und ihre Stimmveränderungen Arch.Ohr.Nas.Kehlkopfheilk. 154, 96-140, (1944)
- (9) FAIRBANKS G.:
Voice and articulation drillbook. 2nd ed. Harper, New York (1960)
- (10) FANT G.:
Acoustic theory of speech production Mouton Publ., The Hague / Paris (1970)
- (11) FRANK F., DONNER F.:
Stimmfeldmessungen mit besonderer Berücksichtigung der Tonhaltezeit bei Durchschnittsstimmen und Kunstgesangsstimmen. In: Spitzer L. (Hrsg) Probleme der Sängerausbildung, 65-73, Wien, (1984)
- (12) GAY T., HIROSE H., STROME M., SAWASHIMA M.:
Electromyography of the intrinsic laryngeal muscles during phonation. Ann.Otol. 81, 401-409, (1972)
- (13) GOULD W.J., OKAMURA H.:
Static lung volumes in singers. Ann.Otol. 82, 89-96 (1973)

- (14) GOULD W.J., OKAMURA H.:
Respiratory training of the singer
Folia Phoniat. 26, 275-286, (1974)
- (15) GUTZMANN H., LOEWY A.:
Über den intrapulmonalen Druck und den Luftverbrauch bei der normalen Atmung, bei phonetischen Vorgängen und bei der expiratorischen Dyspnöe. Pflügers Arch. 180, 111-137, (1920)
- (16) HABERMANN G.:
Funktionelle Stimmstörungen und ihre Behandlung
Arch. Ohr. Nas. Kehlk. Heilk. 227, 171-345, (Kongreßber. 1980)
- (17) HAST M.H.:
Subglottic air pressure and neural stimulation in phonation
J. Appl. Physiol. 161, 1142-1146, (1961)
- (18) HELLER S.S., HICKS W.R., ROOT W.S.:
Lung volumes of singers. J. Appl. Physiol. 15, 40-42, (1960)
- (19) HIRANO M., KOIKE Y., VON LEDEN H.:
Maximum phonation time and air usage during phonation
Folia Phoniat. 20, 185-201, (1968)
- (20) HIRANO M.:
Clinical examination of voice.
Disord. of human commun. 5, Springer Verl., Wien/NY (1981)
- (21) HIRANO M., VENNARD W., OHALA J.:
Regulation of registers, pitch and intensity of voice
An electromyographic investigation of intrinsic laryngeal muscles. Folia Phoniat. 22, 1-20, (1970)
- (22) HUSLER F., RODD-MARLING Y.:
Singen. Die physische Natur des Stimmorgans
Schott Verl., Mainz, 2. Aufl. (1978)
- (23) ISSHIKI N., OKAMURA H., MORIMOTO M.:
Maximum phonation time and air flow rate during phonation:
Simple clinical tests for vocal function
Ann. Otol. Rhino. Laryng. 76, 998-1007, (1967)
- (24) ISSHIKI N.:
Vocal intensity and air flow rate
Folia Phoniat. 17, 92-104, (1965)
- (25) ISSHIKI N.:
Regulatory mechanism of voice intensity variation
J. Speech Hear. Res. 7, 17-29, (1964)
- (26) IWATA S., VON LEDEN H., WILLIAMS D.:
Air flow measurements during phonation
J. of Commun. Disord. 5, 67-79, (1972)
- (27) KLINGHOLZ F., MARTIN F., JOLK A.:
Die Bestimmung der Registerbrüche aus dem Stimmfeld
Wird demnächst veröffentlicht, Sprache-Stimme-Gehör

- (28) KLINGHOLZ F., MARTIN F.:
Die quantitative Auswertung der Stimmfeldmessung
Sprache-Stimme-Gehör 7, 106-110, (1983)
- (29) KOMIYAMA S., WATANABE H., RYU S.:
Phonographic relationship between pitch and intensity of
the human voice. Folia Phoniat. 36, 1-7, (1984)
- (30) KOYAMA T., HARVEY J.E., OGURA J.H.:
Mechanics of voice production. II. Regulation of pitch
Laryngoscope 81, 45-65, (1971)
- (31) LADEFOGED P.:
Three areas of experimental phonetics
Oxford Univ. Press, London (1967)
- (32) LARGE J., IWATA S., VON LEDEN H.:
The male operatic head register versus falsetto
Folia Phoniat. 22, 385-396, (1972)
- (33) LEWIS K., CASTEEL R., McMAHON J.:
Duration of sustained /a/ related to the number of trials
Folia Phoniat. 34, 41-48, (1982)
- (34) LUCHSINGER R.:
Über Vitalkapazität und Atemtypus bei Sängern
Schweiz.Med.Wochenschr. 19, 453-455, (1934)
- (35) LUCHSINGER R.:
Physiologie der Stimme. Folia Phoniat. 5, 58-127, (1953)
- (36) LUCHSINGER R., ARNOLD G.E.:
Handbuch der Stimm- und Sprachheilkunde
3. Aufl., Springer, Wien/New York, (1970)
- (37) MURRY T., SCHMITKE L.K.:
Air flow onset and variability
Folia Phoniat. 27, 401-409, (1975)
- (38) NEIMAN G.S., EDESON B.:
Procedural aspects of eliciting maximum phonation time
Folia Phoniat. 33, 285-293, (1981)
- (39) PERKINS W.H., YANAGIHARA N.:
Parameters of voice production: I. Some mechanism for the
regulation of pitch. J.Speech Hear.Res. 11, 246-267, (1968)
- (40) PETERSON G.E., BARNEY H.L.:
Control methods used in a study of the vowels
J.Acoust.Soc.Am., Vol.24, No.3, 175-184, (1952)
- (41) PROCTOR D.F.:
Breathing, speech, and song
Springer Verl., Wien/New York, (1980)

- (42) PTACEK P.H., SANDER E.K.:
Maximum duration of phonation
J.Speech Hear.Dis., Vol.28, No.2, 171-182, (1963)
- (43) RAU D., BECKETT R.L.:
Aerodynamic assessment of vocal function using hand-held
spirometers. J.Speech Hear.Dis., Vol.49, 183-188, (1984)
- (44) RUBIN H.J.:
Experimental studies on vocal pitch and intensity in
phonation. Laryngoscope 73, 973-1015, (1963)
- (45) RUBIN H.J., LeCOVER M., VENNARD W.:
Vocal intensity, subglottic pressure and air flow relations
in singers. Folia Phoniatri. 19, 393-413, (1967)
- (46) SAWASHIMA M.:
Measurement of the phonation time
Japan J.Logoped.Phoniatri. 7, 23-28, (1966)
- (47) SCHULTZ-COULON H.-J.:
Bestimmung und Beurteilung der individuellen mittleren
Sprechstimmlage. Folia Phoniatri. 27, 375-386, (1975)
- (48) SCHULTZ-COULON H.-J.:
Die Diagnostik der gestörten Stimmfunktion
Arch.Ohr.Nas.Kehlk.Heilk. 227, 1-171, (Kongreßbericht 1980)
- (49) SCHULTZ-COULON H.-J., BATTMER R.-D., RIECHERS H.:
Der 3-kHz-Formant - ein Maß für die Tragfähigkeit der
Stimme? I. Die untrainierte Normalstimme
Folia Phoniatri. 31, 291-301, (1979)
II. Die trainierte Singstimme
Folia Phoniatri. 31, 302-313, (1979)
- (50) SEARS T.A.:
Some neural and mechanical aspects of singing
In: Music and the brain, studies in the neurology of music
(Critchley M., Henson R.A., eds.) London, Heinemann
- (51) SEEMAN M.:
Sur la régulation neurovégétative de la durée de la
phonation. Folia Phoniatri. 1, 22-37, (1947)
- (52) SHANKS S.J., MAST D.:
Maximum duration of phonation: objective tool for assess-
ment of voice. Percept.Mot.Skills 45, 1315-1322, (1977)
- (53) SHIGEMORI Y.:
Some tests related to the air usage during phonation.
Clinical investigations. Otologia (Fukuoka) 23, 138-166,
(1977)
- (54) STONE R.E.:
Clinical assessment of laryngeal function: a symposium
Annu.Conv.Am.Speech Hear.Ass., Chicago (1977)

- (55) VAN DEN BERG J.W.:
Direct and indirect determination of the mean subglottic pressure. *Folia Phoniatriat.* 8, 1-24, (1956)
- (56) VAN DEN BERG J.W., TAN T.S.:
Results of experiments with human larynges
Pract. Otorhinolaryng. 21, 425-450, (1959)
- (57) VAN RIPER C.:
Speech correction: principles and methods
4th ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall (1963)
- (58) VENNARD W.:
Singing, the mechanism and the technic
Rev.Ed., Carl Fischer, New York (1967)
- (59) VOGELSANGER G.T.:
Experimentelle Prüfung der Stimmleistung beim Singen
Folia Phoniatriat. 6, 193-227, (1954)
- (60) VON LEDEN H.:
Neuere Funktionsteste des Larynx
HNO 19, Heft 8, 225-231, (1971)
- (61) WENDLER J., SEIDNER W.:
Lehrbuch der Phoniatrie. Thieme, Leipzig (1977)
- (62) YANAGIHARA N., KOIKE Y., VON LEDEN H.:
Phonation and respiration. Function study in normal subjects
Folia Phoniatriat. 18, 323-340, (1966)
- (63) YANAGIHARA N., KOIKE Y.:
The regulation of sustained phonation
Folia Phoniatriat. 19, 1-18, (1967)
- (64) YANAGIHARA N., VON LEDEN H.:
Respiration and phonation. The functional examination of laryngeal disease. *Folia Phoniatriat.* 19, 153-166, (1967)
- (65) YOSHIOKA H., SAWASHIMA M., HIROSE H., USHIJIMA T., HONDA K.:
Clinical evaluation of air usage during phonation
Japan J.Logoped.Phoniatriat. 18, 87-93, (1977)

DANKSAGUNG

Herrn Prof. Dr. E. Kastenbauer sei für die Überlassung des Arbeitsplatzes an seiner Klinik mein besonderer Dank ausgesprochen.

Herrn Prof. Dr. F. Martin danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas und seine liebenswürdige, tatkräftige und stets hilfreiche Unterstützung bei der Realisation dieser Arbeit.

Weiterhin gilt mein großer Dank Herrn Priv. Doz. Dr. Dr. F. Klingholz für seine wertvollen Anregungen und ausführliche fachliche Beratung.

Frau E. Kolodziej möchte ich sehr für die vorzügliche Anfertigung der Zeichnungen danken.

Gleichfalls gilt mein Dank allen beteiligten Sängern und Nichtsängern, Sängerinnen und Nichtsängerinnen, die durch Ihre produktive Mitarbeit das Zustandekommen der Arbeit ermöglichten.

LEBENS LAUF

Am 14.1.1958 wurde ich als einziges Kind des Dipl. Kfm. Dr. Wolfgang Schmidt und seiner Ehefrau Astrid geb. Piechottka in Hamburg geboren.

Nach vier Volksschuljahren besuchte ich von 1969 bis 1975 das Gymnasium Klosterschule Hamburg und von 1975 bis 1977 das Walddörfer Gymnasium in Hamburg. Dort bestand ich im Sommer 1977 das Abitur.

Im Wintersemester 1977 begann ich an der Freien Universität Berlin das Studium der Medizin. Den vorklinischen Teil schloß ich im August 1979 mit der ärztlichen Vorprüfung ab. Den ersten Teil der ärztlichen Prüfung bestand ich ein Jahr später im August 1980.

Zum Wintersemester 1981 setzte ich mein Studium an der Universität Wien fort. Nach zwei Semestern wechselte ich an die Ludwig-Maximilians-Universität in München, wo ich im März 1983 den zweiten Teil der ärztlichen Prüfung und im Mai 1984 den dritten Teil bestand.

Im August 1984 begann ich die vorliegende Arbeit an der Universitätsklinik Großhadern München unter der Leitung von Herrn Professor F. Martin.

Seit dem 1. Juli 1986 bin ich als wissenschaftliche Assistentin an der Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenkranke der Ludwig-Maximilians-Universität in München beschäftigt.

